Aarde **Klimaatvraagstukken** SE

# de geo

Aardrijkskunde
voor de tweede fase
**Studieboek vwo**





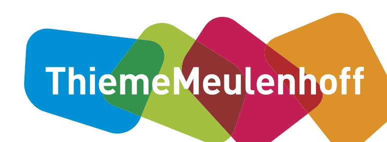

**Studieboek vwo**

# Aarde Klimaatvraagstukken

drs. H.M. van den Bunder
drs. J.H.A. Padmos

Eindredactie: B. van Wanrooij

De Geo voor de tweede fase wordt geschreven door een auteursteam:
drs. J.H. Bulthuis, drs. H.M. van den Bunder, drs. G. Gerits, drs. I.G. Hendriks,
drs. J.H.A. Padmos, A. Peters en B. van Wanrooij



## Hoe werk je met De Geo?

Dit studieboek behandelt een gedeelte van het domein Aarde, namelijk Klimaatvraagstukken. Samen met het werkboek en het materiaal op www.degeo-online.nl kun je je hiermee goed voorbereiden op dat onderdeel van het schoolexamen aardrijkskunde.

Lees hieronder hoe het studieboek, het werkboek en de site zijn opgebouwd.

### Werkboek

Het werkboek is het startpunt van waaruit je werkt. Je treft de volgende onderdelen aan:

**I Instaptoets**
Je herhaalt wat je al weet over het onderwerp.

**II Hoofdstukken met paragrafen**
- Hoofdvraag en deelvragen Ieder hoofdstuk heeft een hoofdvraag. In de paragrafen komen de deelvragen aan de orde waarmee je de hoofdvraag kunt beantwoorden.
- Opdrachten In elke paragraaf maak je verschillende soorten opdrachten zoals:
  - kennisvragen → **K**
  - inzichtvragen → **I**
  - opdrachten over vaardigheden en werkwijzen → **V**
  - verdiepingsopdrachten → VERDIEPING
  - atlasopdrachten
- Online-opdrachten Aan het eind van een paragraaf staan ict-opdrachten.
- Afsluiting Een hoofdstuk sluit af met een slotopdracht en een leeroverzicht.
- Extra Een hoofdstuk heeft ook altijd een Extra met extra opdrachten, bijvoorbeeld voor je Praktische opdracht.
- Proeftoets Een hoofdstuk heeft ook altijd een Proeftoets waarmee je oefent voor je toets.

**III Proefexamen**
Aan het eind van het werkboek vind je een Proefexamen. Hiermee toets je je kennis en vaardigheden voor de stof van het hele katern. Op het examen gebeurt dat immers ook.

### Studieboek

Het studieboek heb je nodig om de theorie, de vaardigheden en de werkwijzen na te lezen. Om je te helpen de stof te bestuderen worden de volgende tekens gebruikt:
▶ hoofdzaak
● onderverdeling van de hoofdzaak, opsomming
■ bijzaak
Een overzicht van de vaardigheden en de werkwijzen vind je achter in het studieboek. De opdrachten in het werkboek leiden je door dit overzicht.

### Online

Op www.degeo-online.nl vind je:
- ict-opdrachten en W-nummers;
- films en animaties;
- extra beeld bij begrippen en lastige theorie;
- extra proeftoetsen met feedback en extra oefenmogelijkheden voor je examen;
- begrippenoverzichten per domein en per hoofdstuk;
- overzicht van vaardigheden en werkwijzen.

**Vormgeving**
DATBureau, Amsterdam

**Bureauredactie**
Text & Support, Beusichem

**Opmaak**
DeltaHage bv, Den Haag

**Cartografie**
EMK, Deventer

**Technisch tekenwerk**
Tiekstra Media, Groningen
Zografisch, Groningen

**Fotoresearch**
Lineair, Arnhem

**Over de omslagfoto**
Manifestatie over klimaat-verandering op de Schlossplatz in Berlijn.

**Over ThiemeMeulenhoff**
ThiemeMeulenhoff is dé educatieve mediaspecialist en levert educatieve oplossingen voor het Primair Onderwijs, Voortgezet Onderwijs, Middelbaar Beroepsonderwijs en Hoger Onderwijs. Deze oplossingen worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met de onderwijsmarkt en dragen bij aan verbeterde leeropbrengsten en individuele talentontwikkeling.

ThiemeMeulenhoff haalt het beste uit élke leerling.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze educatieve oplossingen:
www.thiememeulenhoff.nl of via de Klantenservice 088 800 20 15

ISBN 978 90 06 43644 0
Vierde druk, derde oplage, 2014







# 1 Het klimaatsysteem SE



## Strijd tegen de elementen

Steve Fossett was een Amerikaanse miljonair die ervan hield records te breken. In 2002 lukte het hem, na diverse mislukte pogingen, een non-stop soloballonvlucht rond de aarde te maken. Hij deed 13 dagen, 8 uur en 33 minuten over de vlucht van 33.195 kilometer. Fossett werd tijdens zijn vlucht begeleid door een team van meteorologen. Ze hielden de temperatuur, de luchtdruk, de kracht, de snelheid van de wind en de vochtigheidsgraad van de lucht voor hem in de gaten.
En dat was maar goed ook! Tijdens de vlucht doemde er een gebied met veel slecht weer op. Alleen laag boven zee waren er winden die de ballon van het gebied vandaan loodsten. De weerkundigen lieten Steve Fossett een gevaarlijke manoeuvre maken door de ballon te laten dalen van 7.500 meter hoogte naar slechts 250 meter hoogte. Gelukkig bleek het een goede beslissing te zijn en kon de ballonvaart worden voortgezet.
Helaas heeft Steve Fossett niet lang van zijn succes kunnen genieten. In september 2007 verdween hij tijdens een solovlucht met een vliegtuig.



# 1.1 De atmosfeer: een omhulsel van gas

## In bijna 14 minuten beneden!

Op 16 augustus 1960 steeg een heliumballon van de Amerikaanse luchtmacht met daarin de testpiloot Joseph Kittinger in anderhalf uur tijd naar grote hoogte in de atmosfeer. Toen deed Kittinger iets opmerkelijks: hij stapte op een hoogte van 31.333 m uit het mandje en begon aan een vrije val. Op 5.500 m opende hij zijn parachute en na 13 minuten en 45 seconden landde hij veilig op aarde. De hoogste snelheid die hij bereikte, was 988 km/uur en onderweg was de laagst gemeten temperatuur -70 °C. Niemand heeft ooit meer een poging gedaan om dit record te breken.

## Weer en klimaat

▶ Als je besluit je volgende zomervakantie door te brengen in het Middellandse Zeegebied, doe je dat niet omdat je de avond ervoor hebt gehoord dat het daar mooi weer is. Je weet wellicht uit ervaring dat de kans op neerslag rond de Middellandse Zee 's zomers erg klein is en de kans op veel zon groot. Je neemt je beslissing op basis van wat je weet over het klimaat, de gemiddelde toestand van het weer over een lange periode en voor een groot gebied.

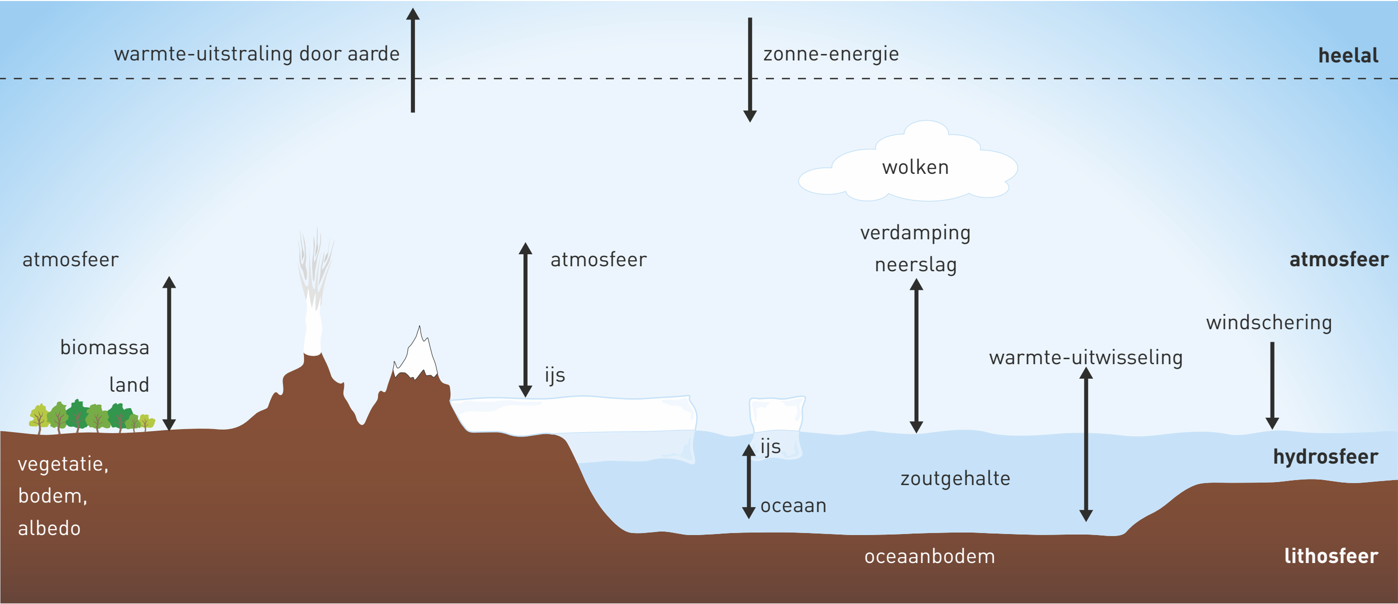
> klimaat

De meteorologen die Steve Fossett begeleidden bij zijn record-poging, hadden niets aan gegevens over het klimaat. Zij moesten snel handelen met de informatie die zij op dat moment hadden over de temperatuur en de luchtdruk. De toestand van de dampkring op een bepaald moment en voor een klein gebied, noem je het weer.

▶ Dit studieboek gaat over het klimaat en dan vooral over de veranderingen van het klimaat in het verleden en in de (nabije) toekomst. Daar is de laatste jaren veel over te doen. De ene wetenschappelijke publicatie na de andere verschijnt en meestal bevatten ze onheilspellende boodschappen. Smelt de komende jaren al het ijs van de Noordpool? Is de mens door de uitstoot van $CO_2$ de veroorzaker van het versterkte broeikaseffect? Overstroomt de zee Laag-Nederland en komt Amersfoort aan zee te liggen? Zijn er over vijftig jaar geen gletsjers meer in de Himalaya? Breiden de woestijnen in Afrika zich uit? Dit zijn vragen waarop sommige wetenschappers heel stellig een bevestigend antwoord geven, terwijl andere onderzoekers eerder terughoudend zijn. Voor- en tegenstanders zijn het er wel over eens dat het klimaat deel uitmaakt van het ingewikkelde systeem aarde. Dit systeem bestaat uit vier sferen: de atmosfeer waar weer en klimaat zich afspelen, de hydrosfeer, de lithosfeer en de biosfeer.

> weer
> atmosfeer
> hydrosfeer
> biosfeer






Figuur 1.1 Factoren en processen van het klimaatsysteem.

Al die sferen staan met elkaar in verband. Een verandering in de ene sfeer werkt door in een andere. In figuur 1.1 zie je dat schematisch afgebeeld.

## Samenstelling en opbouw van de atmosfeer

▶ De atmosfeer werd gevormd toen de aarde na haar ontstaan, 4,6 miljard jaar geleden, begon af te koelen. In de loop van de tijd ontstond een gasvormig omhulsel dat de aarde als een deken bedekt. De zwaartekracht zorgt ervoor dat de gassen niet verdwijnen in de ruimte. Vandaar dat de grootste concentratie van gassen dicht bij de aarde te vinden is. Meer dan 80% van de gassen die de dampkring vormen, tref je aan in de onderste 10 kilometer. Hoe verder je van het aardoppervlak weggaat, hoe lager de concentratie van de bestanddelen wordt.

● De samenstelling van de atmosfeer is uniek en verschilt nogal met die van andere planeten in ons zonnestelsel. Wat vooral opvalt als je de aardse dampkring met die van de dichtstbijzijnde planeten vergelijkt, is de aanwezigheid van stikstof (78,01%), zuurstof (20,95%) en waterdamp en koolstofdioxide die allebei in kleine hoeveelheden voorkomen (figuur 1.2).

| | Druk in bar | $CO_2$ in % | $N_2$ in % | $O_2$ in % |
|---|---|---|---|---|
| Aarde | 1 | 0,03 | 78 | 21 |
| Venus | 90 | 97 | 3,5 | 0 |
| Mars | 0,01 | 95 | 2,7 | 0,1 |

Figuur 1.2 Samenstelling van de atmosfeer van de aarde, Venus en Mars.

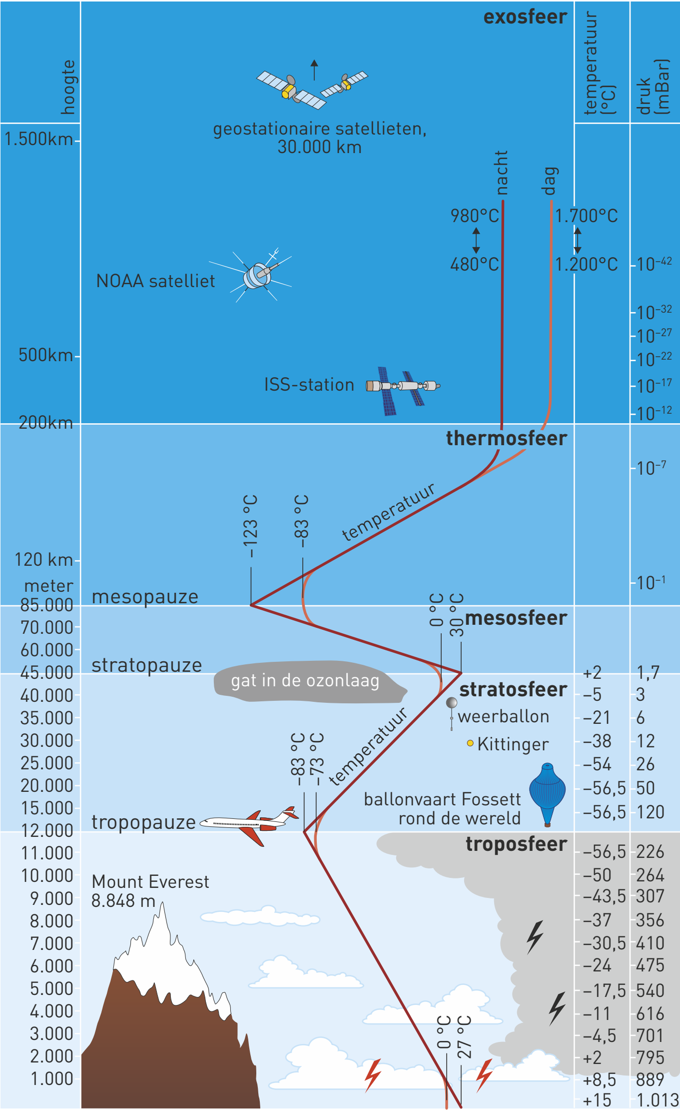
▶ De atmosfeer is opgebouwd uit vier lagen, zoals je ziet in figuur 1.3. De lagen worden van elkaar gescheiden door 'pauzes'. Dit zijn hoogtes waarop de temperatuur toeneemt of juist afneemt.

● De onderste laag heet de troposfeer. Deze laag is bij de polen 9 kilometer dik en bij de evenaar 12 kilometer. Gemakshalve kun je stellen dat met elke 100 meter die je in de troposfeer stijgt, de temperatuur met 0,6 °C daalt. Dit noem je de temperatuurgradiënt. Afwijkingen van de gemiddelde temperatuurgradiënt hangen af van de luchtvochtigheid. Hoe droger de lucht, hoe groter de temperatuurgradiënt. In de troposfeer speelt zich het weer af.

● Vanaf de tropopauze omhoog blijft de temperatuur 10 kilometer vrij constant. Dan wordt het langzamerhand warmer en is het 0 °C in de stratopauze. De laag tussen de tropopauze en de stratopauze heet de stratosfeer. Dit is de laag waar Joseph Kittinger uit zijn ballonmandje sprong. De stratosfeer bevat veel ozongas ($O_3$). Dit gas filtert de voor de mens schadelijke ultraviolette straling uit het zonlicht. Door de opname van de ozon wordt de stratosfeer warm.

● Ten slotte zijn er nog de mesosfeer en de thermosfeer. De meeste meteorieten die op de aarde afkomen, beginnen in de

> troposfeer
> temperatuurgradiënt
> stratosfeer
> mesosfeer
> thermosfeer




**Figuur 1.3** De lagen van de atmosfeer.

mesosfeer te verbranden en zijn op een hoogte van 25 kilometer uiteengevallen. De thermosfeer bevat minder dan 1% van de atmosferische gassen.

## Stralingsbalans

▶ De aarde maakt deel uit van het planetenstelsel waarvan de zon het stralende middelpunt is. De zon is niets anders dan een grote gasbol waarop de temperatuur aan het oppervlak kan oplopen tot 6.000 °C. Hoewel de afstand tussen de twee hemellichamen meer dan 150 miljoen kilometer bedraagt en de aarde maar een klein deel van de straling ontvangt, zouden we op aarde grote problemen hebben als we geen zonne-energie meer zouden krijgen. De zon is de belangrijkste energiebron voor het leven op aarde en de motor achter de weersverschijnselen. Aangezien de aarde niet voortdurend warmer of kouder wordt, moet er een evenwicht bestaan tussen de hoeveelheid straling die de aarde bereikt en de hoeveelheid straling die de atmosfeer weer verlaat. Dit heet de energiebalans of stralingsbalans die afgebeeld is in figuur 1.4.

● Van de energie van de zon die de atmosfeer bereikt, wordt 20% door de wolken weerkaatst en 4% door het aardoppervlak. Samen met de 6% die wordt verstrooid door de gasdeeltjes, bedraagt de albedo 30% (figuur 1.4). In de troposfeer wordt nog eens 23% van de energie door de wolken en door waterdamp en andere gassen geabsorbeerd (opgenomen).

● In totaal bereikt dus 47% van de kortgolvige zonnestraling het aardoppervlak. Dit wordt omgezet in warmte en door de aarde als langgolvige straling teruggekaatst. Dankzij de broeikasgassen zoals waterdamp, $CO_2$ en de wolken, wordt het meeste van deze warmte weer geabsorbeerd en naar de aarde teruggestraald. Uiteindelijk verdwijnt alle langgolvige straling weer in de ruimte, maar het broeikaseffect vertraagt dit. Je kunt het beschouwen als een grote deken die de aarde bedekt. Zonder het broeikaseffect zou de gemiddelde temperatuur op aarde 33 °C lager liggen.

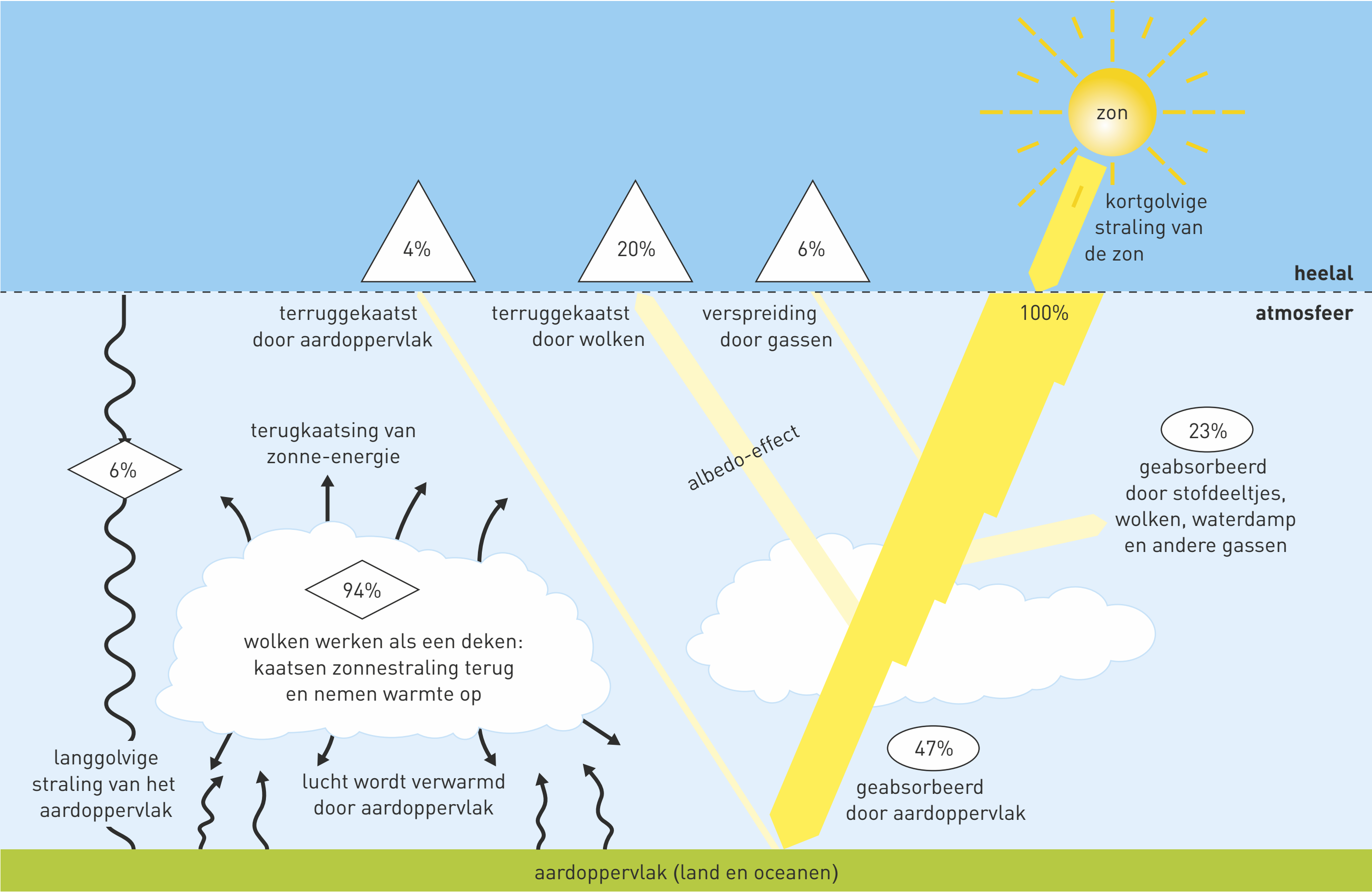
## Variaties in de stralingsbalans

▶ De hoeveelheid straling die een bepaald gebied op aarde ontvangt, is afhankelijk van de breedteligging, de albedo en de gesteldheid van het aardoppervlak.

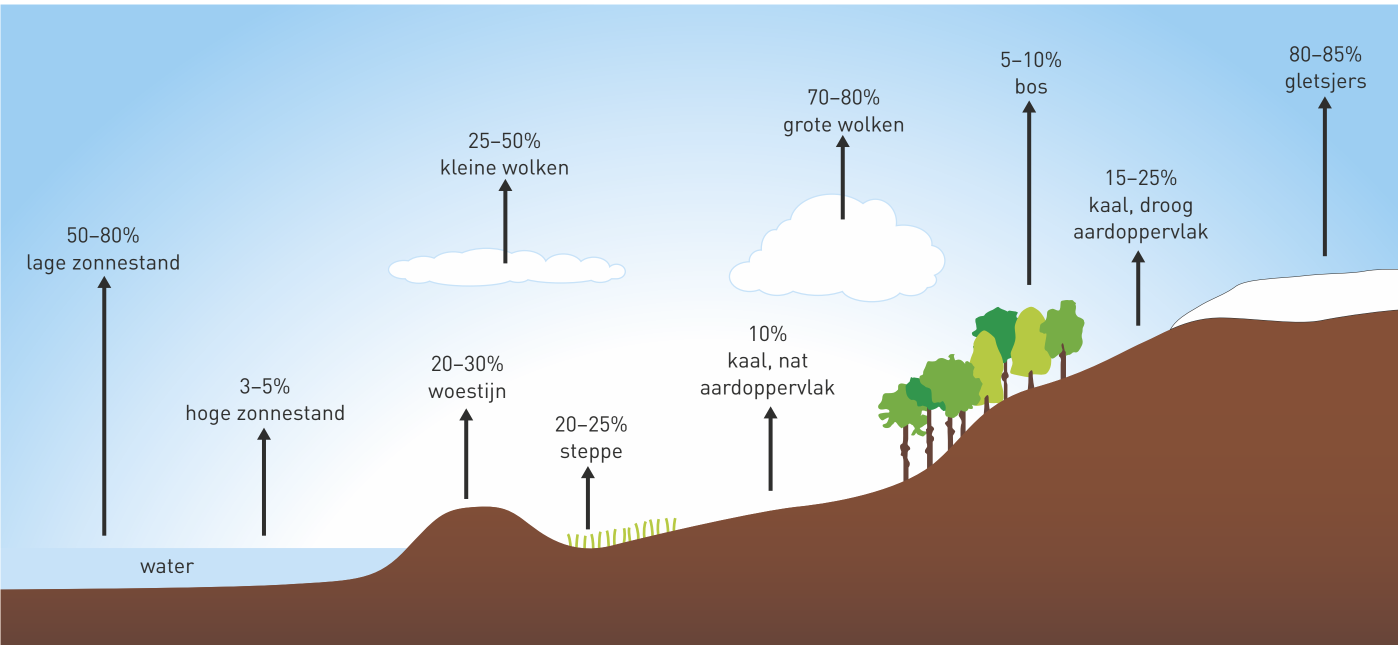
● Uit figuur 1.6 kun je aflezen dat er tussen ongeveer 35° N.B. en 35° Z.B. een overschot aan energie is. De hoeveelheid energie die via de kortgolvige straling van de zon de atmosfeer binnenkomt, is groter dan de hoeveelheid energie die via langgolvige uitstraling uit de atmosfeer verdwijnt. Op breedten hoger dan 35° is het omgekeerde het geval. De oorzaak is de bolling van de aarde. Dicht bij de evenaar (op lage breedte) vallen de zonnestralen loodrecht in. Hierdoor is de hoeveelheid straling per oppervlakte-eenheid groter dan op hoge breedte. Doordat deze zonnestralen ook een kortere weg door de dampkring afleggen, wordt er minder energie door de lucht opgenomen.

> energiebalans
> stralingsbalans
> albedo
> broeikaseffect

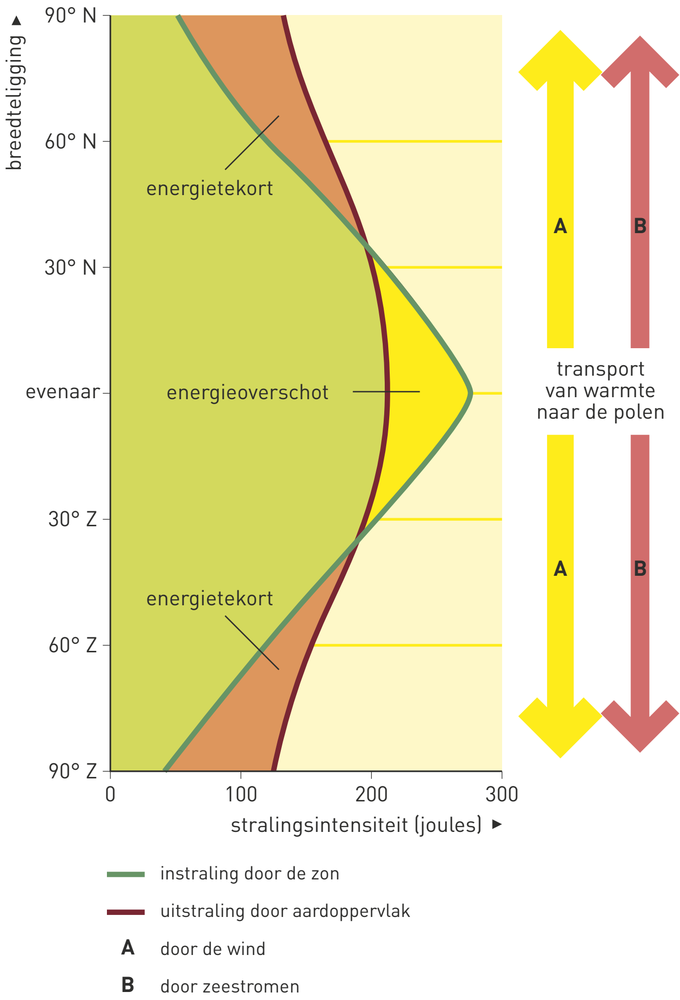





**Figuur 1.4** De energie- of stralingsbalans van de aarde.




**Figuur 1.5** Het albedo-effect.




**Figuur 1.6** Breedteligging, instraling, uitstraling en transport.

● De weerkaatsing van het zonlicht, de albedo, verschilt van gebied tot gebied. Een besneeuwd gebied in de poolstreek reflecteert meer zonnestraling dan een bos. Het bos neemt daardoor meer energie op en verwarmt de lucht erboven meer dan de lucht boven het ijsoppervlak (figuur 1.5).

● Ten slotte speelt het verschil tussen land en zee een rol. Water wordt langzamer warm en koud dan land. Dit heeft vier oorzaken:

■ Het zonlicht kan dieper in het water doordringen dan in het land. Dezelfde hoeveelheid energie moet dus over een grotere oppervlakte water worden verdeeld.

■ Doordat water in beweging is, wordt de warmte beter verdeeld dan op het land.

■ Het kost meer energie om water een graad in temperatuur te laten stijgen dan land.

■ Bij verdamping van water gaat energie uit het water naar de dampkring. Boven land is de verdamping natuurlijk veel lager.





# 1.2 Warmtetransport door de wind

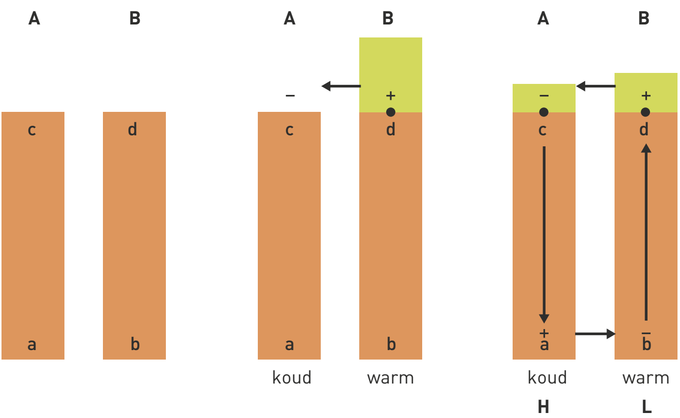
## Regenschade

Moessonregens in Karachi (Pakistan) veroorzaakten neerkomende daken en muren, en zorgden ook voor verkeersongevallen. Verscheidene mensen stierven door verdrinking en elektrocutie. Veel straten kwamen tot kniehoogte onder water te staan en het weg-, trein- en luchtverkeer werd zwaar verstoord, zo meldde televisiezender Geo News in juli 2008. Het regenseizoen duurt in Zuid-Azië van juni tot eind september. Elk jaar eisen de hevige regens talloze slachtoffers en richten ze, vooral in landelijke gebieden, zware schade aan.

## Luchtdrukverschillen

▶ In figuur 1.6 zag je dat de hoeveelheid zonne-energie niet gelijk is verdeeld over de aarde. Het lijkt alsof het gebied tussen 35° N.B. en 35° Z.B. steeds warmer wordt en alsof de gebieden op hogere breedte steeds kouder worden. Dat dit niet zo is, komt doordat er transport van warmte plaatsvindt van de evenaar naar de polen. Voor dat transport zijn lucht en water verantwoordelijk.

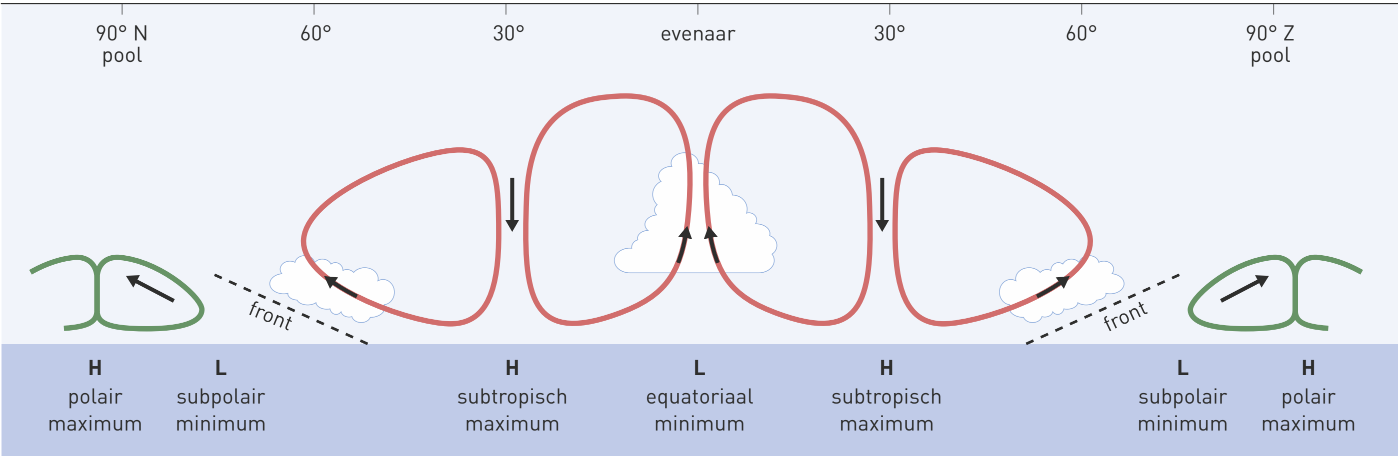
■ Wind is niets anders dan stromende lucht van plaatsen waar er te veel van is naar plaatsten waar er te weinig van is. De Engelsman George Hadley had al aan het begin van de achttiende eeuw een visie op de luchtcirculatie. Volgens hem zette de lucht in de tropen door verwarming uit (figuur 1.7). Daardoor daalt de soortelijke massa en stijgt de lucht. Op grote hoogte krijg je dan een gebied met een overschot aan lucht (de warme




**Figuur 1.7** Het ontstaan van hoge en lage luchtdruk.

kolom). Als die zich naast een gebied met (verhoudingsgewijs) een tekort aan lucht (de koude kolom) bevindt, stroomt er lucht van het gebied met een overschot naar het gebied met een tekort. In de koude kolom is de soortelijke massa van de lucht door het krimpen toegenomen en daalt de lucht. Als gevolg hiervan neemt het gewicht van de koude kolom lucht, de luchtdruk aan het aardoppervlak toe en neemt de luchtdruk van de warme kolom af. Er ontstaat aan het aardoppervlak een gebied met een overschot aan lucht, een hogedrukgebied en een gebied met een tekort aan lucht, een lagedrukgebied. Daardoor stroomt er lucht van het hogedrukgebied naar het

> luchtdruk
> hogedrukgebied
> lagedrukgebied




Figuur 1.8 Ligging van hoge- en lageluchtdrukgebieden.

lagedrukgebied. In de praktijk betekent dit dat er aan het aardoppervlak een wind waait van de polen naar de evenaar.

## Het corioliseffect

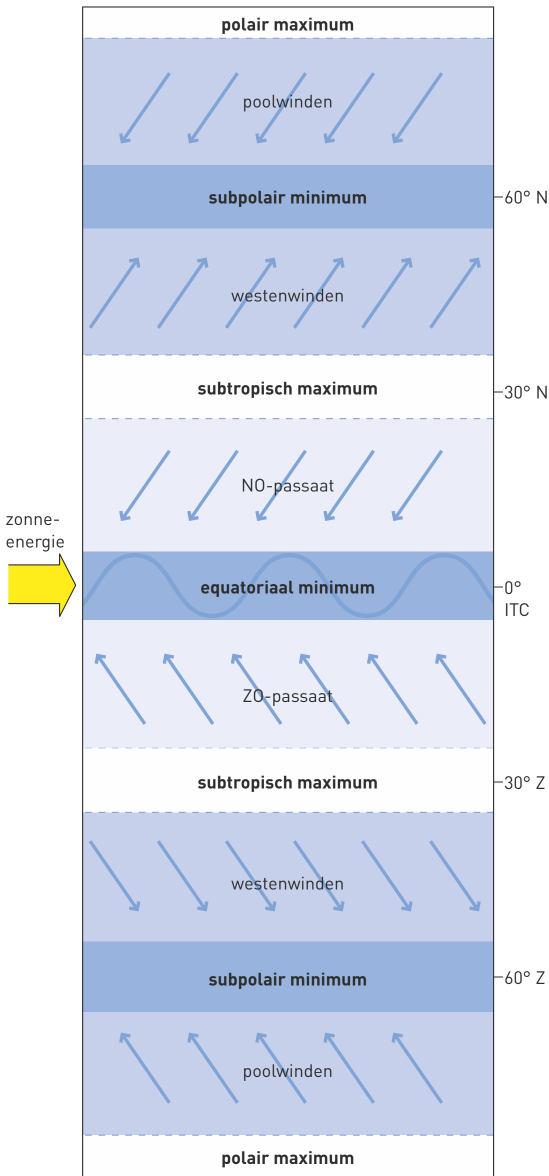
▶ De ideeën van Hadley zetten aan tot denken en werden in latere eeuwen verfijnd. Een belangrijke aanpassing had te maken met de draaiing van de aarde en de daarmee gepaard gaande corioliskracht.

■ Het corioliseffect kun je heel makkelijk nabootsen op een draaimolen, die je net als de aarde tegen de wijzers van de klok laat indraaien. Als je in het midden van de draaimolen staat en een bal gooit naar iemand die aan de rand meedraait, zal de bal de persoon aan de rand aan de rechterkant passeren. Deze persoon beweegt zich namelijk ten opzichte van de werper met grote omloopsnelheid naar links. Gedurende de tijd die de bal erover doet om de persoon te bereiken, is deze al een flink stuk verder doorgedraaid. Als je de bal zou gooien naar iemand die buiten de draaimolen staat, zal de bal altijd bij die persoon aankomen. De bal beweegt zich dus gewoon in rechte lijn voort.

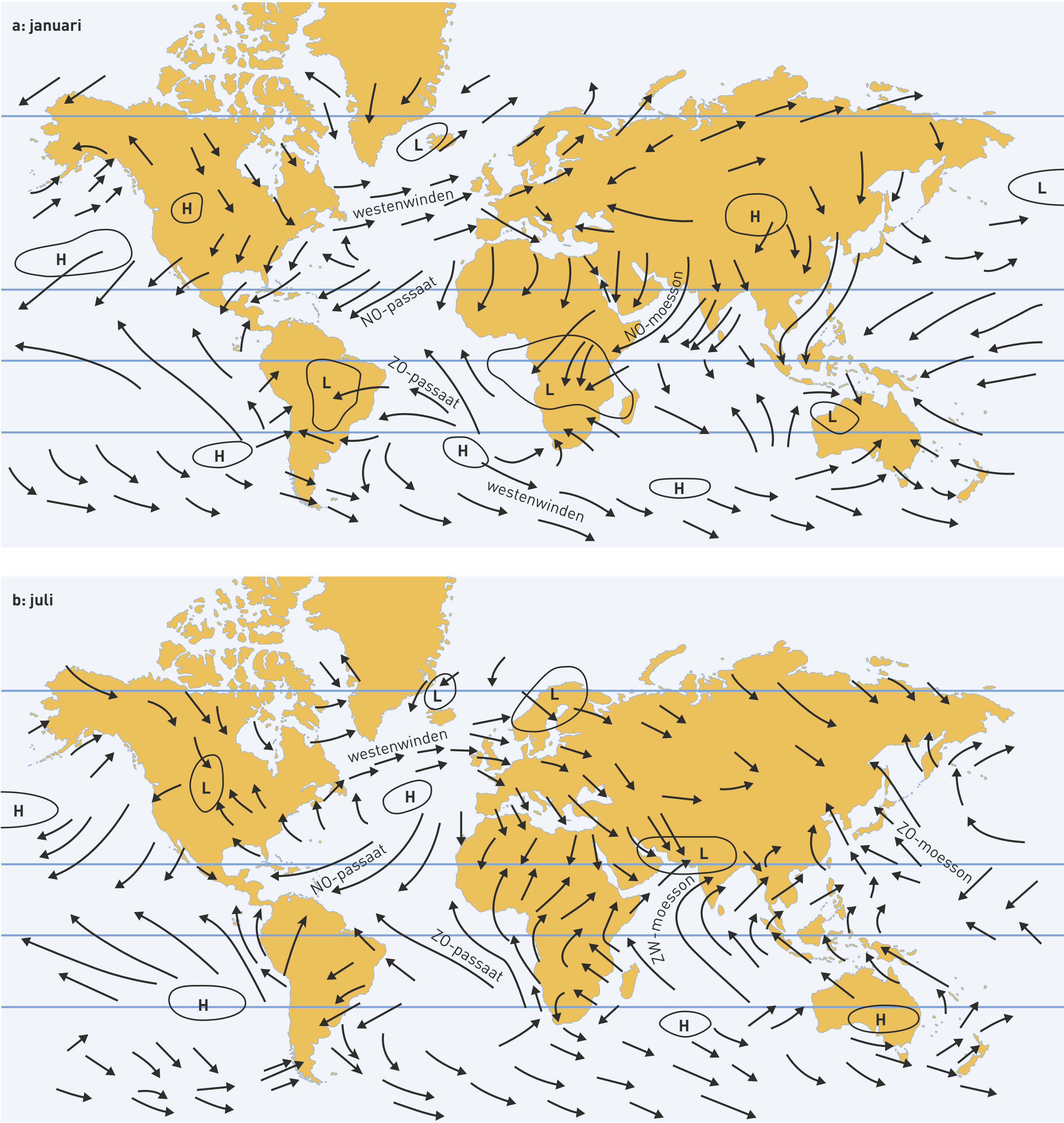
● Door het corioliseffect kan de wind die op grote hoogte van de evenaar naar de pool stroomt, de Noordpool niet bereiken. Op 30° N.B. is de lucht zo afgekoeld, dat deze naar beneden zakt. Als deze lucht het aardoppervlak bereikt, stroomt een deel terug naar de evenaar en een ander deel naar het noorden.

● De lucht die aan het aardoppervlak van de Noordpool naar de evenaar stroomt, ontmoet op ongeveer 60° N.B. deze naar het noorden stromende lucht die vanaf 30° N.B. komt. De lucht botst en kan niet anders dan stijgen. Aan de rand van de troposfeer stroomt een deel van deze lucht terug naar de pool. Het restant

> corioliskracht




Figuur 1.9 De belangrijkste windsystemen op aarde.




Figuur 1.10 Luchtdruk en winden in januari en juli.

gaat richting de evenaar. In figuur 1.8 zie je alles getekend.

▶ Als gevolg hiervan zijn er zeven gordels van hoge en lage luchtdruk met het bijhorende windsysteem (figuur 1.9). De afwijkingen die je ziet, zijn het gevolg van de corioliskracht. In het algemeen geldt de wet van Buys Ballot, die zegt dat als je met je rug naar de wind staat, je op het noordelijk halfrond de hoge druk rechtsachter hebt en de lage druk linksvoor. Op het zuidelijk halfrond heb je de hoge druk linksachter en de lage druk rechtsvoor.

De relatief droge winden die het hele jaar uit oostelijke richting




**Figuur 1.11** Moessonregens in Azië.

van de subtropische hogedrukgebieden naar de evenaar waaien, heten passaten.

## Afwijkingen van het globale windsysteem

▶ De werkelijkheid verschilt nogal van de situatie zoals die is getekend in figuur 1.9. Dat komt door de schuine stand van de aardas en door de verschillen tussen land en zee.

● Door de schuine stand van de aardas vindt de loodrechte zonnestand niet het gehele jaar op de evenaar plaats. Deze 'beweegt' zich tussen de twee keerkringen. Aangezien de laagste luchtdruk wordt gemeten waar de temperatuur het hoogst is, beweegt de zone van lage luchtdruk rond de evenaar, de intertropische convergentiezone (ITC), mee. De verschuiving beperkt zich niet tot het gebied rond de evenaar. Het hele windsysteem verschuift in juli naar het noorden en in januari naar het zuiden (figuur 1.10).

● Doordat de verschillen in temperatuur tussen zomer en winter boven de continenten het grootst zijn, is de verschuiving daar het sterkst. Vanaf juli ligt het ITC op ongeveer 20° N.B. boven de continenten Azië en Afrika. Door de afwijking naar rechts die de wind op het noordelijk halfrond krijgt, zuigen de lagedrukgebieden boven deze continenten vochtige zeelucht aan. De aanlandige moessons brengen een paar maanden van het jaar veel neerslag. Rond januari, als het ITC op het zuidelijk halfrond ligt, waait er een aflandige droge moesson uit het noordoosten.

> passaten

> moessons





# 1.3 Rivieren in de oceanen

### Badeendjes op zee

In januari 1992 sloeg tijdens een storm een container van een vrachtschip overboord. Nu gebeurt dat dagelijks, maar de lading van deze container was bijzonder: bijna 30.000 badspeeltjes. Gele badeendjes, blauwe schildpadden, rode bevers en groene kikkers: allemaal kwamen ze in de Stille Oceaan terecht. Bijna een jaar later spoelden duizenden speeltjes aan op de kust van Alaska. Een groot deel zat jaren vastgevroren in het Noordpoolijs. Pas in 2000 werden ze voor de kust van IJsland gesignaleerd. Nog steeds spoelen speeltjes, weliswaar sterk verweerd, aan op verschillende stranden in de wereld. Door het onbedoelde experiment met de badspeeltjes is waardevolle informatie verkregen over de zeestromen in de oceanen.

## Zeestromen

▶ De overheersende winden zijn de belangrijkste reden voor het ontstaan van de zeestromen. Deze zeestromen zijn ook verantwoordelijk voor een herverdeling van zonne-energie over de aarde. Net als bij de wind hebben de bolvorm en de draaiing van de aarde invloed op het patroon. Ook zeestromen krijgen op het noordelijk halfrond een afwijking naar rechts en op het zuidelijk halfrond een afwijking naar links.

● Binnen elke oceaan bevindt zich een hoofdcirculatie die bestaat uit meerdere stromen (figuur 1.12). Op het noordelijk halfrond draait zo'n circulatiepatroon met de wijzers van de klok mee, op het zuidelijk halfrond tegen de wijzers van de klok in. Ondiepten in de oceanen en de vorm van de continenten verstoren soms het patroon.

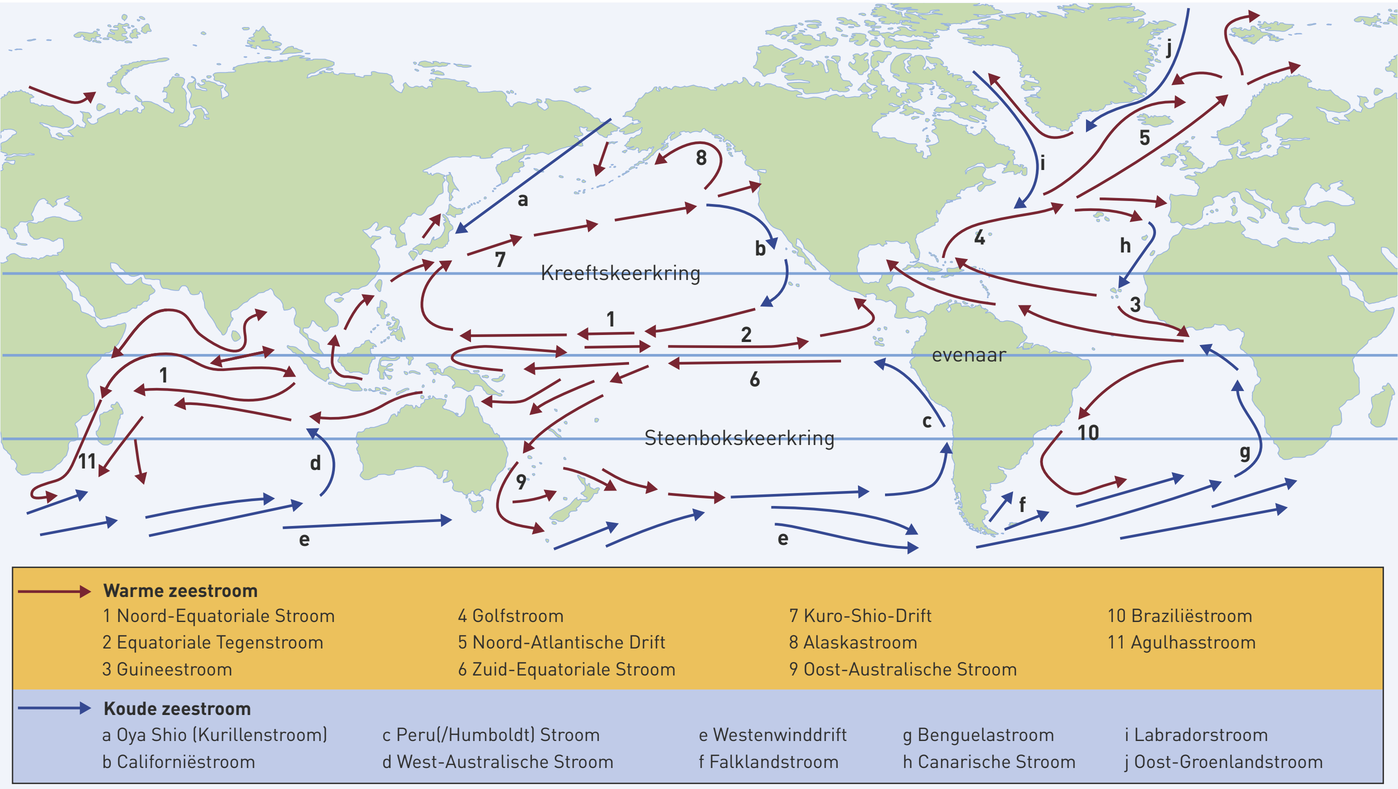
■ De Zuid-Equatoriale Stroom wordt bijvoorbeeld door de vooruitstekende punt van Brazilië gedwongen zich in twee stromen te splitsen. De Braziliëstroom gaat vervolgens naar hogere breedten en het restant van de Zuid-Equatoriale Stroom gaat naar de evenaar.

■ De belangrijkste uitzondering is de Westenwinddrift ten noorden van Antarctica. Dit is de enige zeestroom die ongehinderd van west naar oost rond de aarde stroomt.

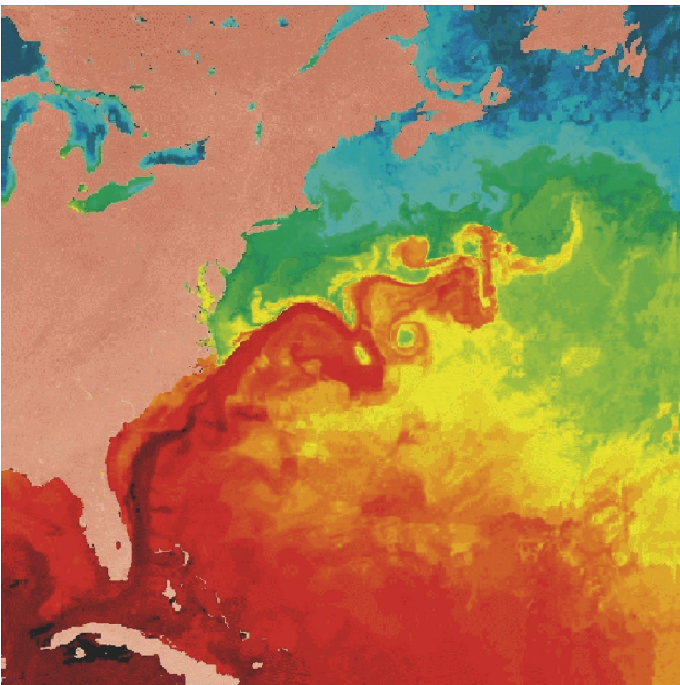
▶ Uit figuur 1.12 kun je aflezen dat er twee soorten zeestromen zijn: warme en koude zeestromen. De warme zeestromen brengen warm water naar de polen en koude zeestromen zorgen ervoor dat koud water naar lagere breedtes stroomt. Het effect van een zeestroom op de temperatuur hangt af van het feit of het een warme of een koude zeestroom is. Warme zeestromen zorgen vooral in de winter voor aangenamere temperaturen op hogere breedten. Koude zeestromen daarentegen kunnen juist in de zomermaanden voor lagere temperaturen zorgen.

■ Warm en koud moet je overigens niet al te letterlijk opvatten. Het betekent alleen dat de watertemperatuur hoger of lager is dan je op een bepaalde breedtegraad zou mogen verwachten. Het water van de (koude) Canarische Stroom is bijvoorbeeld

> zeestromen




**Figuur 1.12** De belangrijkste zeestromen.



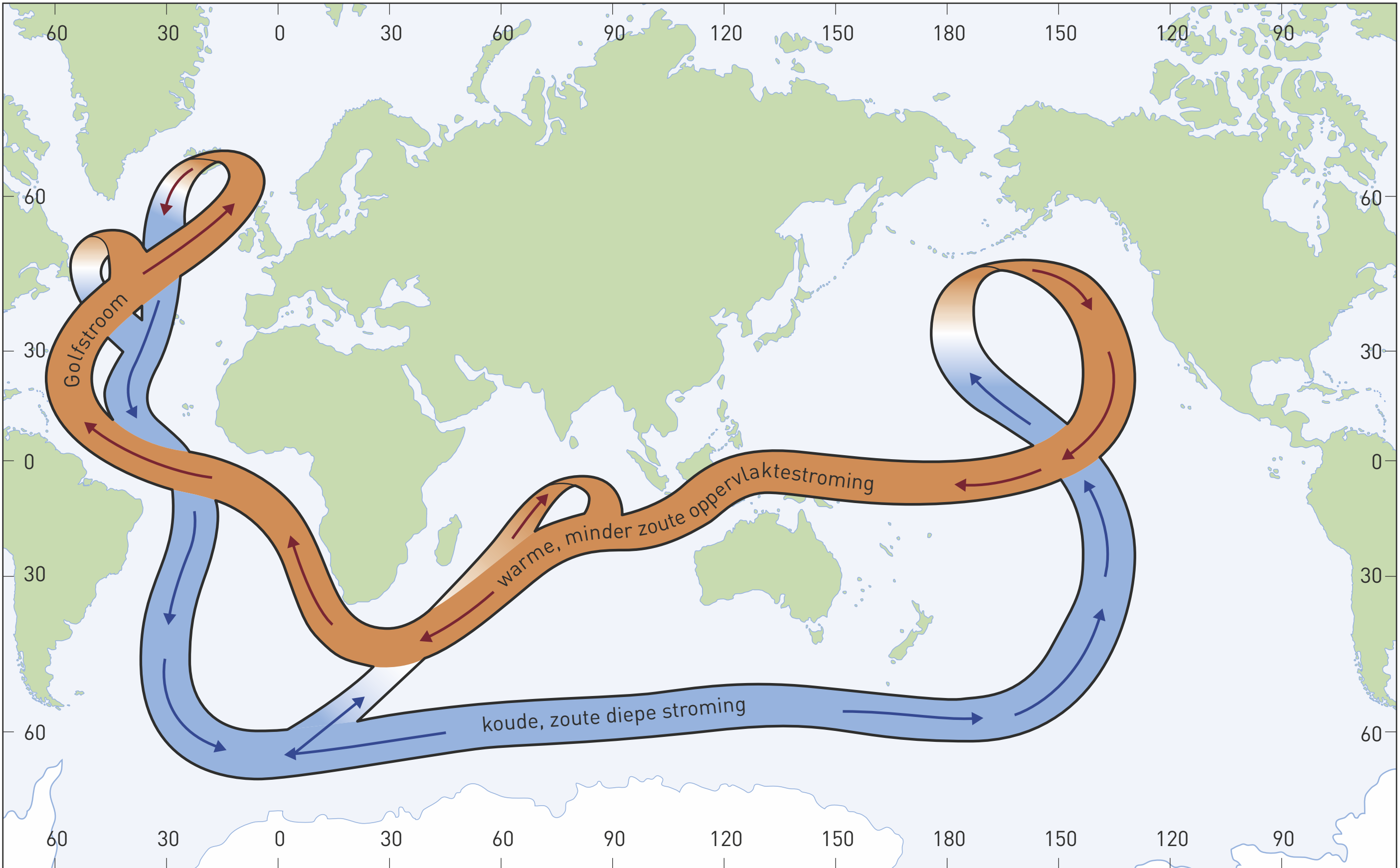
**Figuur 1.13** Op deze satellietopname is de Golfstroom (rood) goed te herkennen.

warmer dan het water van de (warme) Golfstroom voor de kust van Noorwegen.

## Thermohaline circulatie

▶ De Golfstroom voert warmer en iets zouter dan gemiddeld zeewater vanuit de Golf van Mexico naar Noord- en West-Europa. Door deze zeestroom smelt bijvoorbeeld het ijs in de wateren rond Groenland en is de Russische havenstad Murmansk een paar maanden per jaar bereikbaar voor scheepvaartverkeer. Door de Golfstroom heeft Noordwest-Europa een zachter klimaat dan de geografische breedte zou doen vermoeden.
Voor de kust van IJsland komt het water van de Golfstroom in aanraking met koude lucht en het koudere water dat uit de buurt van de Noordpool komt. Doordat de Golfstroom warmte afgeeft, daalt de temperatuur van het water van 10 °C tot 2 °C. Door de grote hoeveelheid zout die het bevat, is de dichtheid van dit water bij 2 °C zo groot geworden dat het naar de oceaanbodem zinkt. Deze stroming langs de bodem van de oceaan wordt de Noord-Atlantische Diepwaterstroming genoemd en beweegt zich in de richting van de evenaar. Ten zuiden van Afrika buigt de stroming naar het oosten en vindt vermenging plaats met een stroming die rond Antarctica circuleert. Uiteindelijk verspreidt het koude, diepe oceaanwater zich in de Grote Oceaan. Deze reis duurt ongeveer duizend jaar.





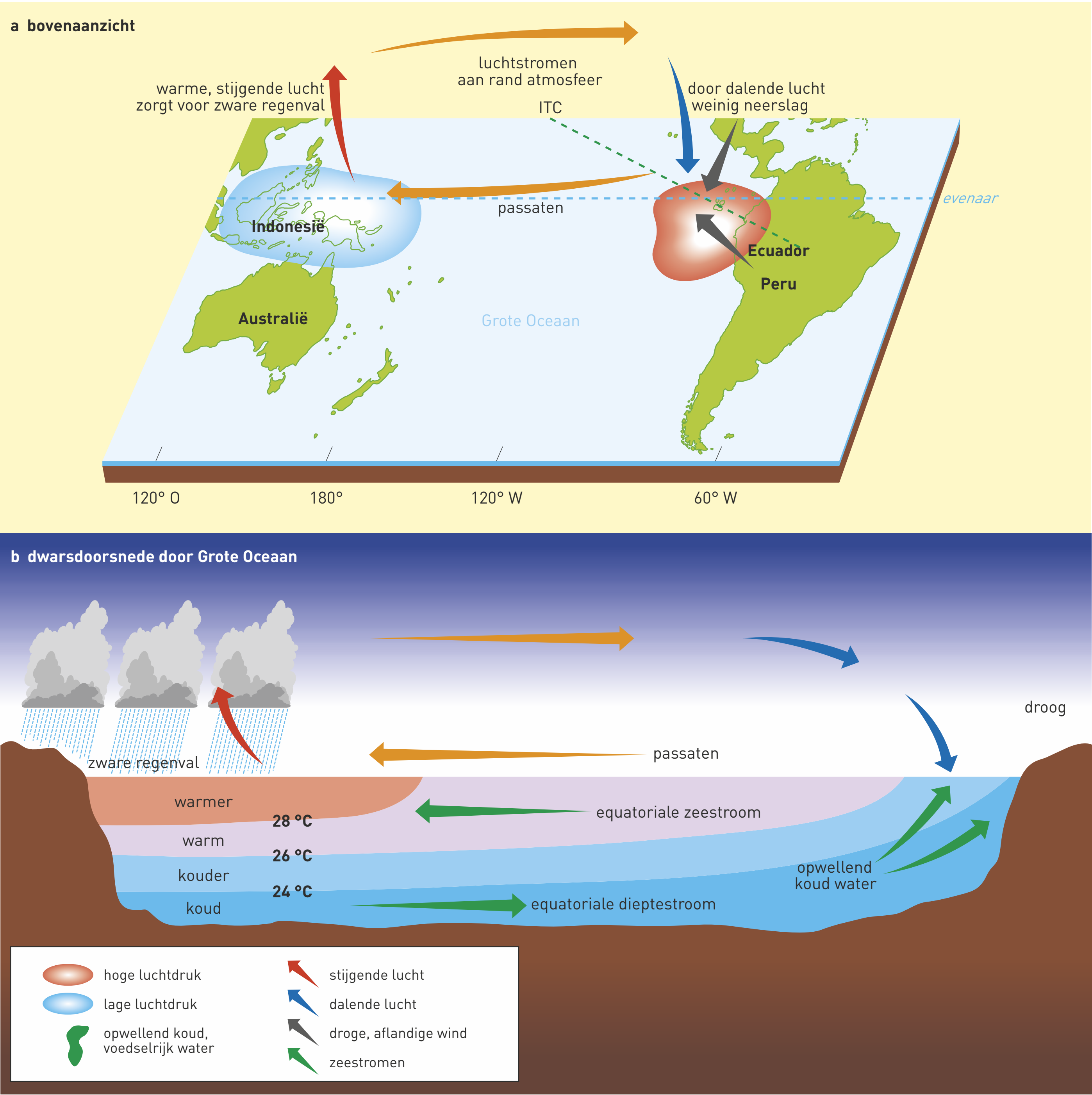

**Figuur 1.14** Thermohaline circulatie.

● Omdat er bij Groenland steeds weer nieuw water naar beneden zinkt, wordt het diepe water op andere plekken in de oceanen opnieuw omhoog gestuwd. Het warme oppervlaktewater wordt op sommige plekken door de wind weggeblazen. Hierdoor kan het koude water uit de diepte daar weer opwellen. Het water wordt weer warmer en stroomt via Indonesië en Afrika naar het Caribisch gebied. Daar wordt het door de grote verdamping zouter en wordt het door de westenwinden naar de afzinkput bij Groenland geblazen.
Deze oceaanstroming, die dus wordt aangedreven door de dichtheidsverschillen van het oceaanwater, heet de thermohaline circulatie. Dit thermohaline ('warmte' en 'zoutgehalte') circulatiesysteem werkt als een geweldige diepwaterpomp die warm water uit de tropische streken naar het noorden stuwt en dan weer retour via de diepte van de oceanen.

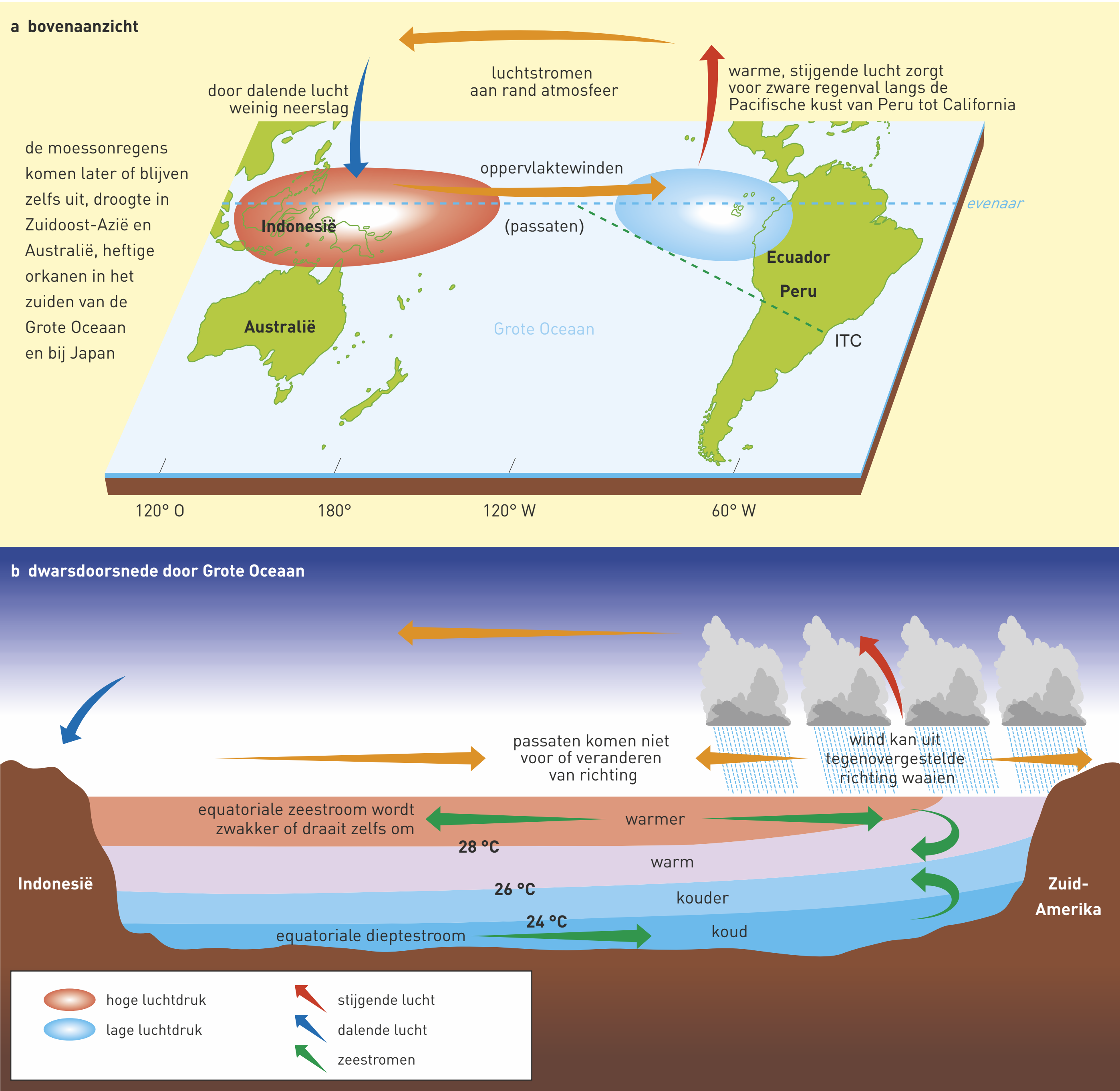
> thermohaline circulatie
> diepwaterpomp

## Het Kerstkind

▶ Isaias Silva zag in februari 1998 dat het waterpeil van de rivier de Piura vlak bij zijn dorp Chato Chico (Peru) in een paar dagen tijd heel erg was gestegen. Dit kwam door geweldige regenbuien die het gebied al wekenlang teisterden. Soms viel er 15 cm neerslag op één dag. Op 15 februari 1998 trad de rivier buiten haar oevers. 'Het ging razendsnel,' vertelt Isaias, 'binnen de kortste keren stond het water tot mijn middel. Ik had nog tijd om mijn twee kinderen te redden, maar voor de rest ben ik alles kwijt: mijn huis, mijn vee en al mijn andere bezittingen.'
Als je Peruaanse vissers duizenden kilometers verderop had gevraagd wat hiervan de oorzaak was, hadden ze – hoe gek het ook klinkt – allemaal geantwoord: 'El Niño.' In paragraaf 1.2 heb je geleerd dat op de Grote Oceaan in de buurt van de evenaar onder normale omstandigheden de passaten waaien. Die stuwen het oppervlaktewater naar het westen. Vooral de Zuid-Equatoriale Stroom neemt veel warm water mee naar Indonesië en het noordoosten van Australië. Boven het warme zeewater stijgt de vochtige lucht op, waardoor er in deze gebieden veel neerslag valt. Aan de andere kant van de Grote Oceaan, bij de Zuid-




Figuur 1.15 Normale situatie zeestromen en winden in de Grote Oceaan.



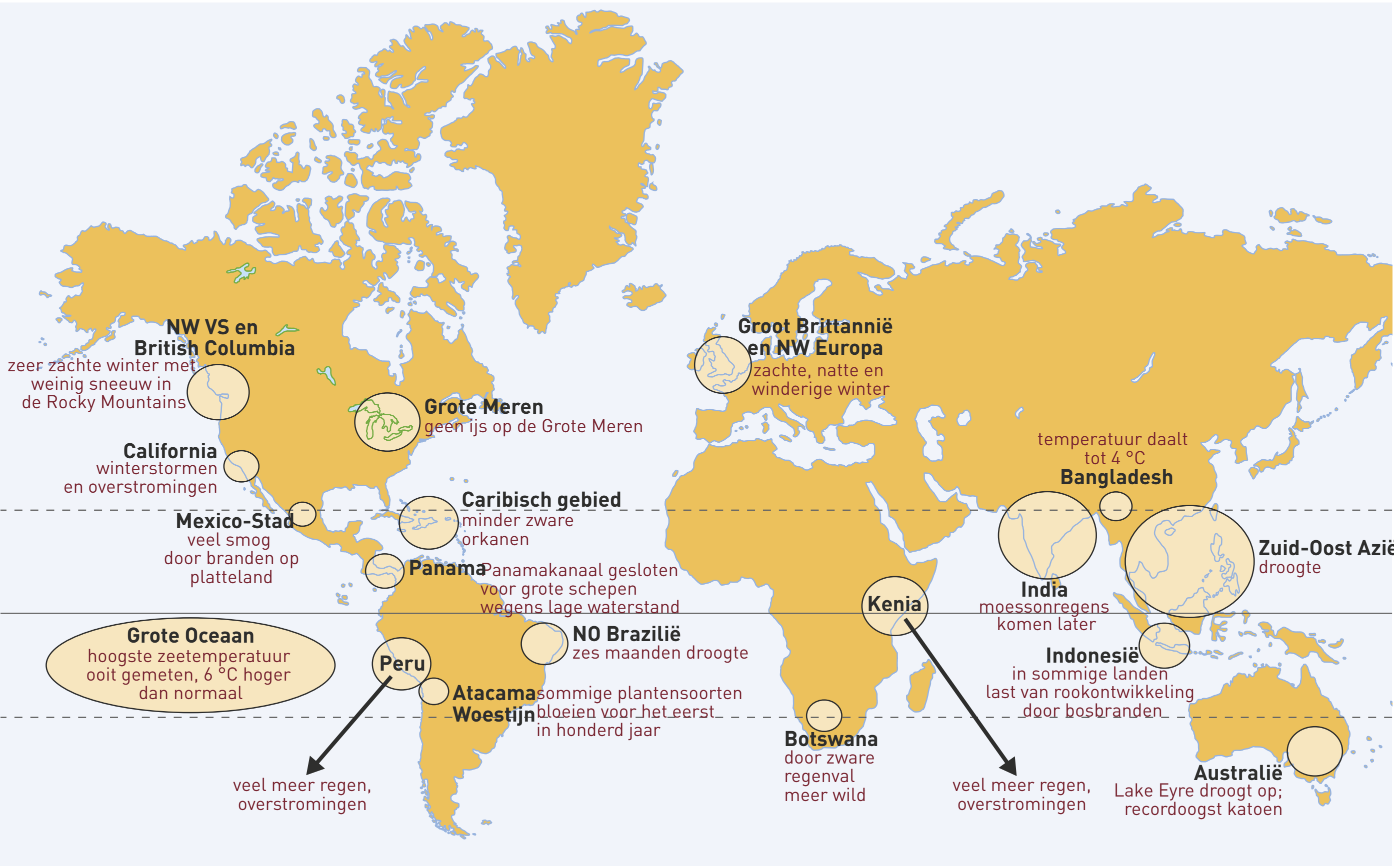

Figuur 1.16 El Niño situatie in de Grote Oceaan.

Amerikaanse westkust, blaast de aflandige passaatwind het oppervlaktewater van de kust weg. Het wordt aangevuld door koel water dat uit de diepte van de oceaan opwelt. Dat water is over de oceaanbodem gestroomd en is daardoor rijk aan allerlei afbraakproducten van dode organismen en mineralen. Deze stoffen worden gebruikt door algen en andere waterplanten, die op hun beurt weer worden gegeten door vissen. De kustwateren van Chili en Ecuador zijn daardoor visrijk. Vooral de vangst van ansjovis is een belangrijk bestaansmiddel voor de kustbewoners.

▶ Rond de jaarwisseling is er meestal gedurende twee tot drie maanden een onderbreking in het windpatroon. De zon staat dan loodrecht boven de Steenbokskeerkring (23,5° Z.B.) en veroorzaakt een afwijking van de gemiddelde luchtdruk-verdeling. Ten zuiden van de evenaar gaat dan boven de Grote Oceaan een westelijke wind waaien. Bij de westkust van Zuid-Amerika wordt warm oppervlaktewater aangevoerd (figuur 1.16). Doordat er geen koud water meer kan opwellen, wordt de hoeveelheid plankton minder en verdwijnen de vissen. De vissers in dat gebied noemen het verschijnsel El Niño, het Kerstkind, omdat het hoogtepunt meestal rond Kerstmis optreedt.

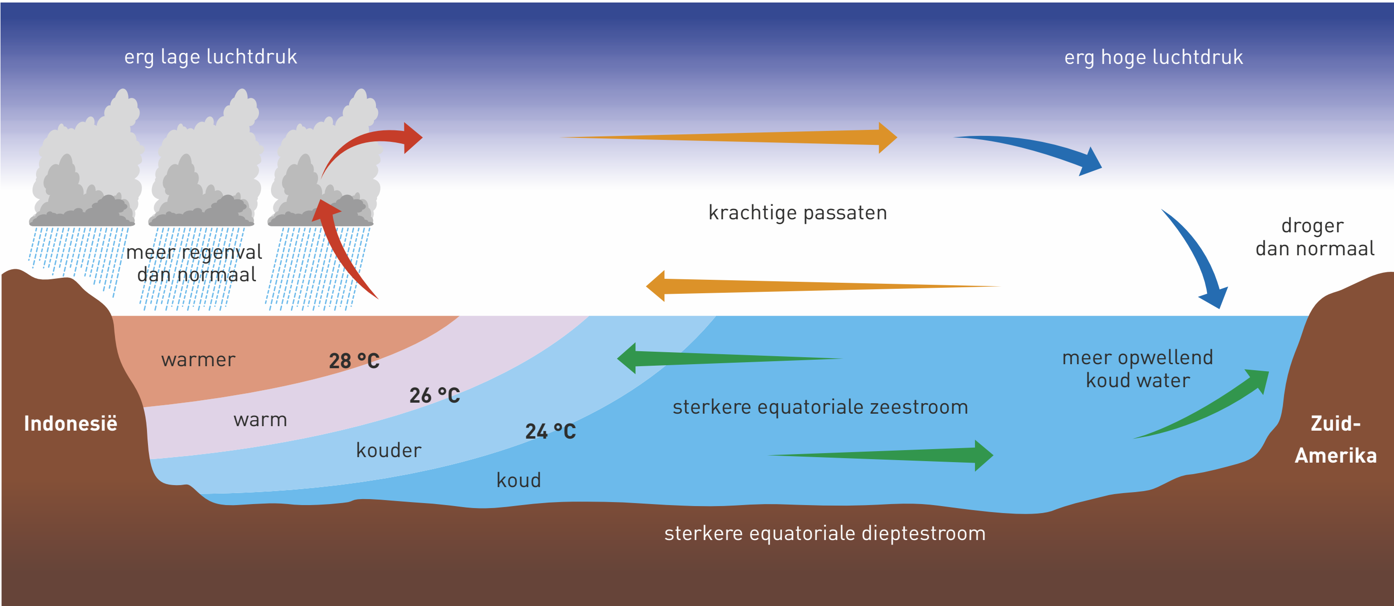
> El Niño

● Al vanaf de zestiende eeuw wordt El Niño beschreven. Daarin wordt verhaald over het wegblijven van de scholen ansjovis, hevige regenval in woestijngebieden en de daarmee gepaard gaande overstromingen. Sinds de zeventiger jaren van de vorige eeuw worden er gegevens verzameld over het verschijnsel. Daaruit komt naar voren dat er elke twee tot zeven jaar een krachtige El Niño voorkomt. De meest recente dateren uit 1982/1983, 1986/1987, 1992/1994 en 2007/2008. In 1997/1998 was




Figuur 1.17 Gevolgen van El Niño in 1998.

er een record El Niño. In plaats van een paar maanden kan zo'n record El Niño wel drie jaar duren. De gevolgen bij een krachtige El Niño blijven ook niet beperkt tot de westkust van Zuid-Amerika, omdat zich dan overal in de wereld korte klimaatveranderingen voordoen. Extreme droogte in Australië, Zuidoost-Azië en Zuid-Afrika leiden tot misoogsten en soms tot




Figuur 1.18 La Niña-situatie in de Grote Oceaan.



grote bosbranden. Deze waren ontstaan doordat kleine boeren op Sumatra en Kalimantan kleine oppervlakten bos plat brandden voor nieuwe akkers. Normaal gesproken worden de brandjes snel geblust door de regen van het tropische klimaat. Maar als de regen uitblijft, verliest men de controle over het vuur en ontstaan grote vuurzeeën. Meer dan één miljoen hectare bos ging in vlammen op en tientallen mensen kwamen om het leven. De gevolgen bleven niet beperkt tot Indonesië. Door de smog die ontstond als gevolg van de bosbranden, werd het leven niet alleen in Indonesië, maar ook in veel buurlanden totaal ontregeld. Luchthavens werden gesloten, schepen lagen weken stil in de havens en de toeristenindustrie klapte in elkaar.
Ook verhoogde orkaanactiviteit, overstromingen in het zuiden van de Verenigde Staten en warmere winters in Canada worden toegeschreven aan El Niño.

## La Niña

▶ Na afloop van El Niño in 1998 stelden klimatologen in mei vast dat de temperatuur in het oostelijk deel van de Grote Oceaan met 8 °C was gedaald. Op grond daarvan voorspelden ze La Niña, letterlijk 'het kleine meisje'. Bij La Niña zijn de klimaatomstandigheden precies het tegenovergestelde van El Niño. De luchtdruk in het westelijk deel van de Grote Oceaan wordt nog lager dan normaal en de hoge luchtdruk in het oostelijk deel neemt toe. Dit heeft tot gevolg dat de passaten sterker worden. Hierdoor worden grote hoeveelheden oceaanwater westwaarts gestuwd en stijgt de zeespiegel bij Indonesië en de Filipijnen. De neerslag in Zuidoost-Azië neemt toe en er ontwikkelen zich meer tropische stormen in Australië. In Peru en Ecuador is het juist droger dan normaal, maar voor de kusten van deze landen welt meer planktonrijk koud water op, waardoor de visvangsten geweldig stijgen.

> La Niña



# 1.4 Het klimaat als systeem

## Klimaten door de eeuwen heen

De klimaten zoals wij die nu op aarde kennen, zijn in het verleden anders geweest. Je kunt dit vaak afleiden uit oude afzettingen die aan of nabij het oppervlak liggen. In de ondergrond van Nederland bijvoorbeeld, zit steenkool. Deze delfstof ontstaat door inkoling van dikke veenlagen die gevormd zijn in een veel warmer klimaat dan het huidige. De fossielen in de steenkoollagen wijzen op een tropisch klimaat van ongeveer 300 miljoen jaar geleden. Maar het is in Nederland niet alleen warm geweest; ons land heeft ook ijstijden gekend. Wellicht dat de kennis over het verleden kan helpen om de toekomst te begrijpen.

## Samenspel

▶ Uit de voorgaande paragrafen zal je wel duidelijk zijn geworden dat het tot stand komen van een klimaat een samenspel is tussen lucht, water, ijs, land en vegetatie. Als er iets verandert in één van deze onderdelen, leidt dat tot gevolgen in de andere. Het klimaat kun je vergelijken met een machine. Om een eindproduct te krijgen, moet je van alles in de machine stoppen om deze te laten draaien. Als je er wat anders instopt, komt er een ander product uit. In figuur 1.19 en 1.20 is het klimaatsysteem afgebeeld.

## Voorwaarden

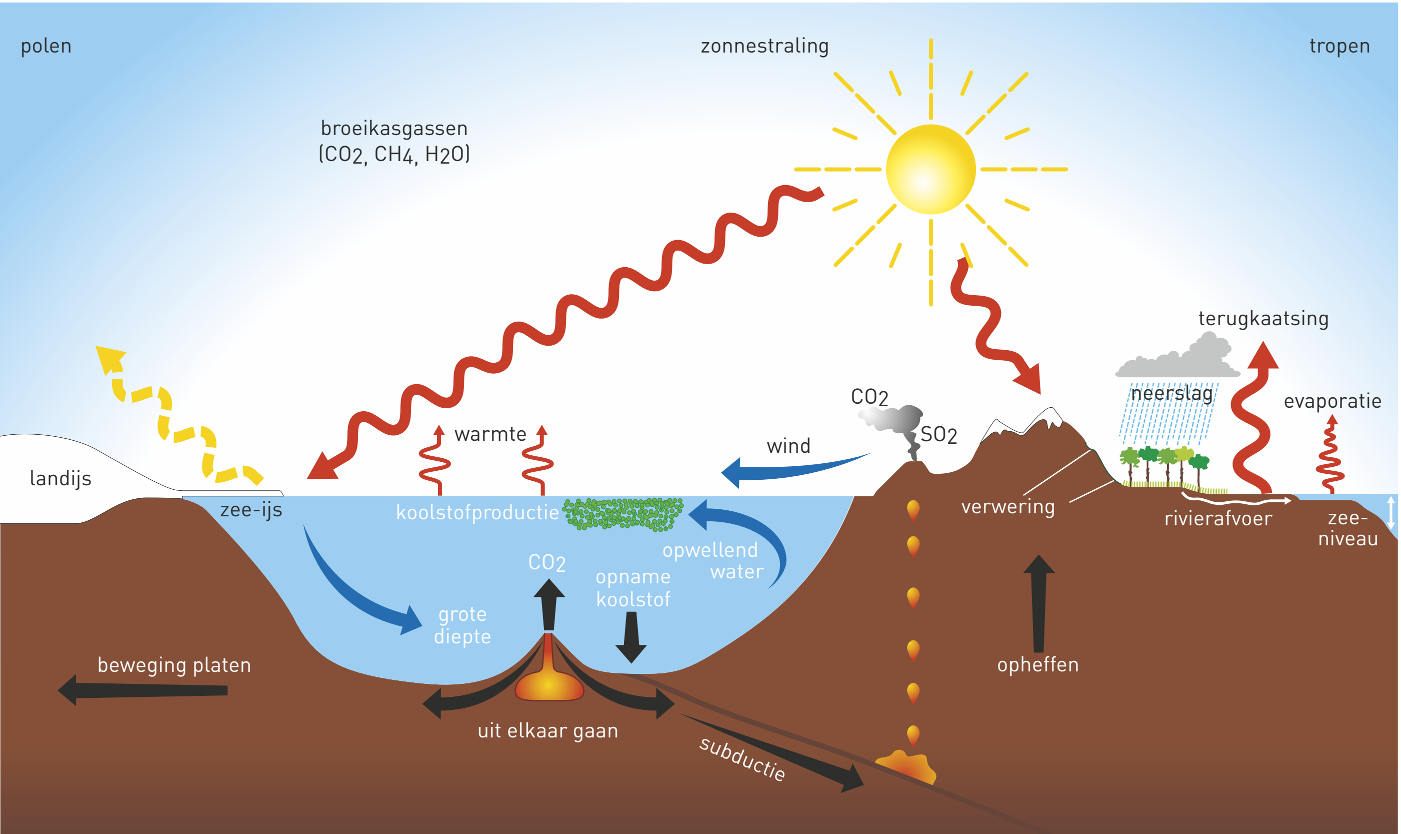
▶ Wetenschappers die klimaatveranderingen bestuderen, gaan ervan uit dat de afwisseling van klimaten ontstaat door een ingewikkeld samenspel van meerdere factoren die zich afspelen op verschillende tijdschalen. Van buitenaf zijn er drie grote factoren die aanzet kunnen geven tot een verandering van het klimaat.

● Allereerst moet er aan een aantal randvoorwaarden worden voldaan voordat er een verandering kan optreden. Dit worden de conditionele factoren genoemd. De ligging van de continenten en het verschuiven hiervan als gevolg van platentektoniek is waarschijnlijk de belangrijkste factor. De aardkorst is niet één geheel, maar bestaat uit allerlei stukken, platen genaamd. Deze platen bewegen met centimeters per jaar naar elkaar toe, van elkaar af of langs elkaar. De zeer langzame beweging van de platen is op zeer lange termijn (miljoenen jaren) verantwoordelijk voor klimaatverandering.

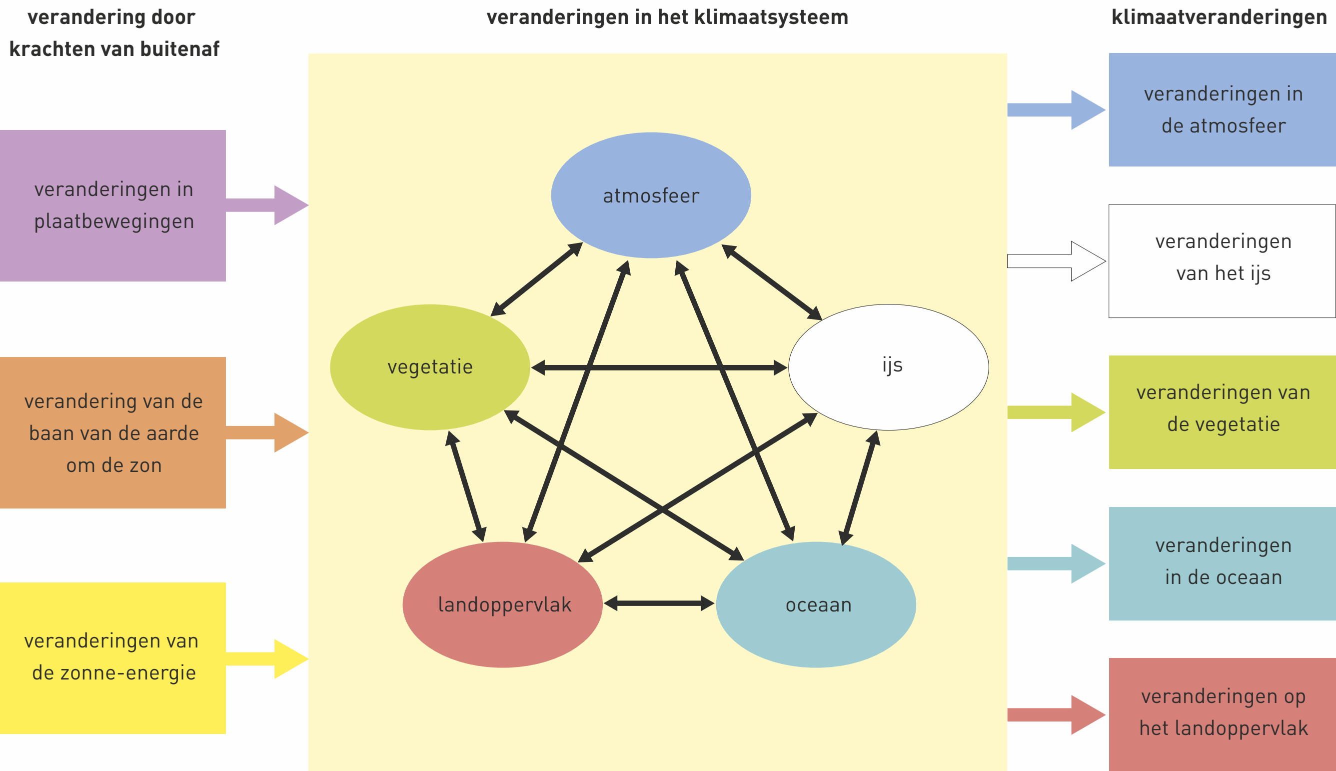
● De grote temperatuurschommelingen tijdens de laatste 2,5 miljoen jaar zijn geen rechtstreeks gevolg van de verschuiving van continenten. Variaties in de baan van de aarde om de zon en in de stand van de aardas dragen daar wél aan bij. Deze variaties leiden niet tot een verandering in de hoeveelheid zonnestraling die de aarde ontvangt, maar beïnvloeden wel de verdeling van de hoeveelheid straling over zomer en winter en over oceanen en continenten. Deze variaties vormen een belangrijk sturend mechanisme in het ontstaan van ijstijden.

> conditionele factoren
> sturend mechanisme

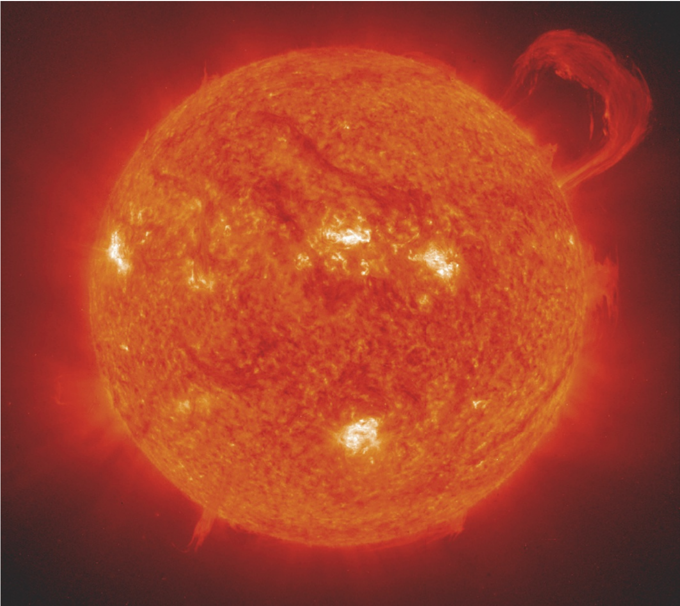





Figuur 1.19 Factoren die het klimaat bepalen.




Figuur 1.20 Oorzaken en gevolgen van klimaatverandering.



Figuur 1.21 Zonnevlekken.

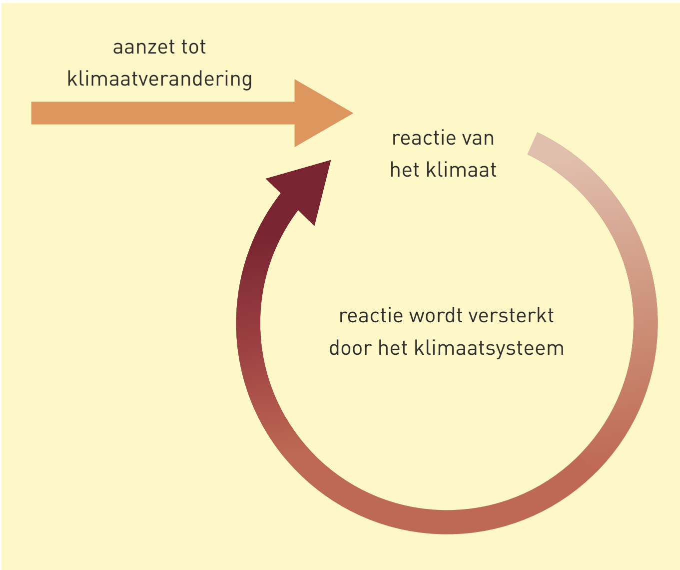
● De derde externe factor is de variatie in de hoeveelheid zonne-energie die de aarde ontvangt. Op redelijk korte termijn is er sprake van een verandering in zonnevlekken. Dit zijn de donkere vlekken die je ziet als je de zon bestudeert. Hun aantal is niet constant en varieert met een regelmaat van elf en honderd jaar. Is het aantal zonnevlekken laag, dan is de temperatuur aan het oppervlak van de zon 4.000 °C in plaats van 6.000 °C. Als gevolg hiervan varieert ook de temperatuur op aarde. In de twintigste eeuw was het aantal zonnevlekken maximaal, maar in deze eeuw zal er weer een minimum optreden. Deze theorie is overigens nog niet bewezen.

## Versterking of verzwakking?

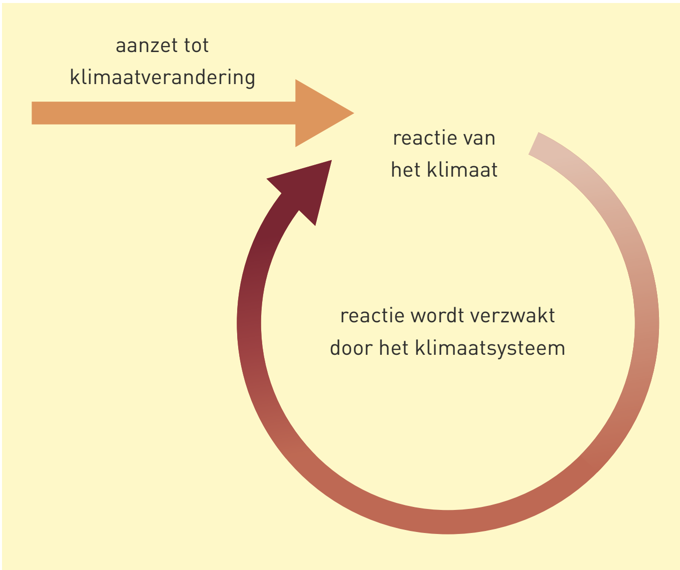
▶ Als je het klimaat als een systeem beschouwt, zijn de terugkoppelingsmechanismen daarbinnen belangrijk. Bij een positieve terugkoppeling wordt de klimaatverandering door de werking van het systeem versterkt, bij een negatieve terugkoppeling wordt deze juist afgezwakt (figuur 1.22 en 1.23).

● Als het zee-ijs van de Noordpool smelt, wordt het albedo-effect minder. De vrijkomende zee zal daardoor steeds meer warmte opnemen. Dit heeft tot gevolg dat er weer meer ijs afsmelt en de opwarming wordt versterkt. Er is hier dus sprake van een positieve terugkoppeling.

● Een voorbeeld van een negatieve terugkoppeling is te zien in de film 'The Day after Tomorrow'. Door de opwarming van de aarde blokkeert de diepwaterpomp bij Groenland. De Golfstroom stopt en Noordwest-Europa krijgt geen aanvoer meer van warm water. Het weer op het noordelijk halfrond raakt van slag en Europa glijdt weg in een ijstijd.

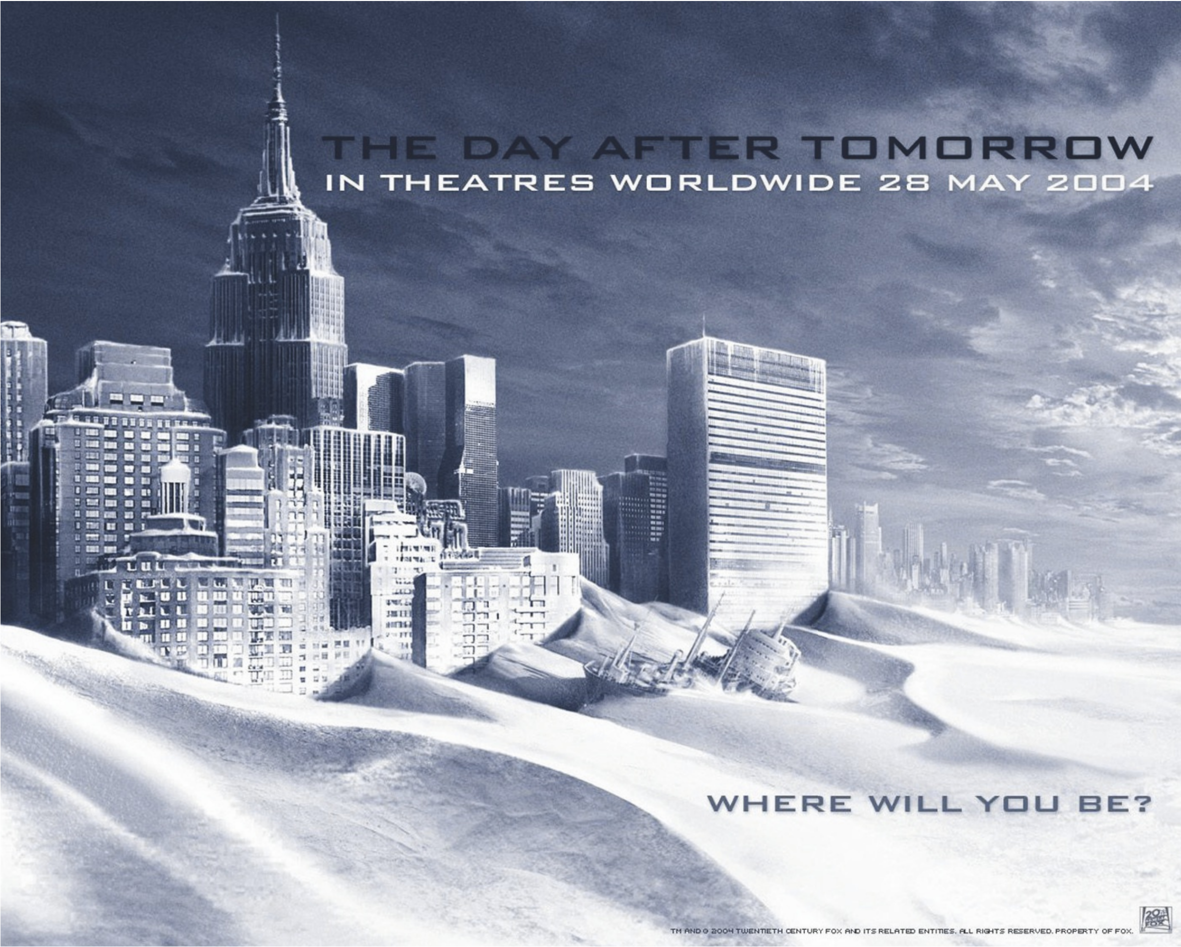



Figuur 1.22 Schematische weergave van een positieve terugkoppeling.




Figuur 1.23 Schematische weergave van een negatieve terugkoppeling.

> terugkoppelingsmechanismen




Figuur 1.24 Filmposter van 'The Day after Tomorrow'.

# Begrippen hoofdstuk 1

**Albedo** 8
Het deel van het naar een hemellichaam gestraalde licht dat dit hemellichaam weer terugzendt.

**Atmosfeer** 6
Het geheel aan gasvormige stoffen die het vaste en vloeibare deel van de aardkorst omringen.

**Biosfeer** 6
Het gedeelte van de aarde waarin het aardse leven voorkomt.

**Broeikaseffect** 8
Temperatuurstijging van het onderste deel van de atmosfeer.

**Conditionele factoren** 22
De randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan voordat een bepaalde gebeurtenis kan plaatsvinden.

**Corioliskracht** 12
Kracht waardoor een luchtmassa die langs het aardoppervlak beweegt, een afwijking krijgt.

**Diepwaterpomp** 17
Het thermohaline circulatiesysteem in de oceaan waarbij warm water uit de tropische streken aan de oppervlakte naar het noorden wordt gestuwd en het water via de diepte van de oceanen teruggaat.

**El Niño** 19
Een periode waarin warm water zich ter hoogte van de evenaar langs de kust en over een groot deel van de Stille Oceaan uitstrekt.

**Energiebalans (of stralingsbalans)** 8
De optelsom van de kortgolvige instraling (zonlicht) op aarde, de naar het heelal teruggekaatste straling en de langgolvige uitstraling (warmte) van de aarde.

**Hogedrukgebied** 11
Gebied waar het gewicht van de kolom lucht boven aarde groot is.

**Hydrosfeer** 6
Gedeelte van de aarde dat uit water bestaat.

**Klimaat** 6
De gemiddelde toestand van het weer over een lange periode en voor een groot gebied.

**Lagedrukgebied** 11
Gebied waar het gewicht van de kolom lucht boven aarde gering is.

**La Niña** 21
Periode waarin de zeewatertemperatuur in het midden van de Stille Oceaan lager is dan normaal.

**Luchtdruk** 11
De druk die de lucht door zijn gewicht op het aardoppervlak uitoefent.

**Mesosfeer** 7
Deel van de atmosfeer op 50 tot 90 kilometer hoogte.

**Moesson** 14
Land- of zeewind die elk half jaar (ongeveer 180°) van richting verandert.

**Passaat** 14
Relatief droge wind die het hele jaar uit oostelijke richting van de subtropische hogedrukgebieden naar de evenaar waait.

**Stralingsbalans** 8
Zie 'Energiebalans'.

**Stratosfeer** 7
Deel van de atmosfeer dat zich uitstrekt van 20 à 25 kilometer hoogte tot ongeveer 50 kilometer hoogte.

**Sturend mechanisme** 22
Factor die bijdraagt aan een gebeurtenis, maar die niet de randvoorwaarde ervoor is.

**Temperatuurgradiënt** 7
Het aantal graden Celsius (°C) temperatuurverandering over 100 m hoogteverandering in de dampkring of de aardkorst.

**Terugkoppelingsmechanisme** 24
Als een verandering tot (een keten van) gevolgen leidt. Sommige gevolgen versterken de situatie (positieve terugkoppeling), andere gevolgen werken de verandering tegen (negatieve terugkoppeling).

**Thermohaline circulatie** 17
Oceaanstroming die wordt aangedreven door de dichtheidsverschillen van het zeewater.

**Thermosfeer** 7
Het hoogste deel van de atmosfeer.

**Troposfeer** 7
Onderste laag van de atmosfeer waarin de weersverschijnselen zich afspelen.

**Weer** 6
De toestand van de dampkring op een bepaald moment en voor een klein gebied.

**Zeestroom** 15
Waterstroming in oceanen en zeeën.





# 2 Klimaatverandering is niets nieuws!




## Alaska Een ijskast verkopen aan een eskimo

Taqukaq is wat men in de Verenigde Staten een 'native Alaskan' noemt. Zelf wordt hij liever aangeduid met het woord Inuit, dat mens betekent. Hij woont in het dorpje Kivalina, een nederzetting van 400 mensen, die ligt op een landtong in de Noordelijke IJszee.
Het woord klimaatverandering kent hij niet, maar volgens hem is de natuur in de war. 'De laatste jaren is het warmer geworden op de pool. We merken het bij het jagen op ijsberen, walvissen en kariboes. Het jachtseizoen is korter geworden. Niet lang geleden zijn twee jagers al in juni door het ijs gezakt en verdronken. Vroeger werd het ijs pas in juli onbetrouwbaar,' vertelt hij.
Tot een paar jaar geleden lag hier het metersdikke zee-ijs van de Noordpool. Nu wordt zijn dorp omgeven door een klotsende zee van zout water. 'Vlees dat over was, lieten we vroeger gewoon buiten liggen, het bevroor toch wel. Nu de temperaturen stijgen, willen we diepvrieskisten kopen om ons vlees te bewaren. Dat is nodig als we nog maar een paar keer per jaar kunnen jagen.'



# 2.1 Woestijnaarde

## Wereldleiders bijeen op top over klimaat

In een landelijk dagblad stond in oktober 2009 het volgende bericht. 'Het klimaat verandert. De ozonlaag wordt dunner, de ijskappen smelten en de zeespiegel stijgt. In Nederland wordt gewaarschuwd voor grote overstromingen. In Kopenhagen zijn de wereldleiders eind 2009 bij elkaar gekomen om afspraken te maken om de klimaatverandering tegen te gaan.' Klimaatveranderingen zijn zo oud als de aarde. Van drie extreme klimaten uit de geologische geschiedenis van de aarde – de woestijnaarde, de broeikasaarde en de ijstijdaarde – kunnen we misschien leren voor de toekomst.

## Perm

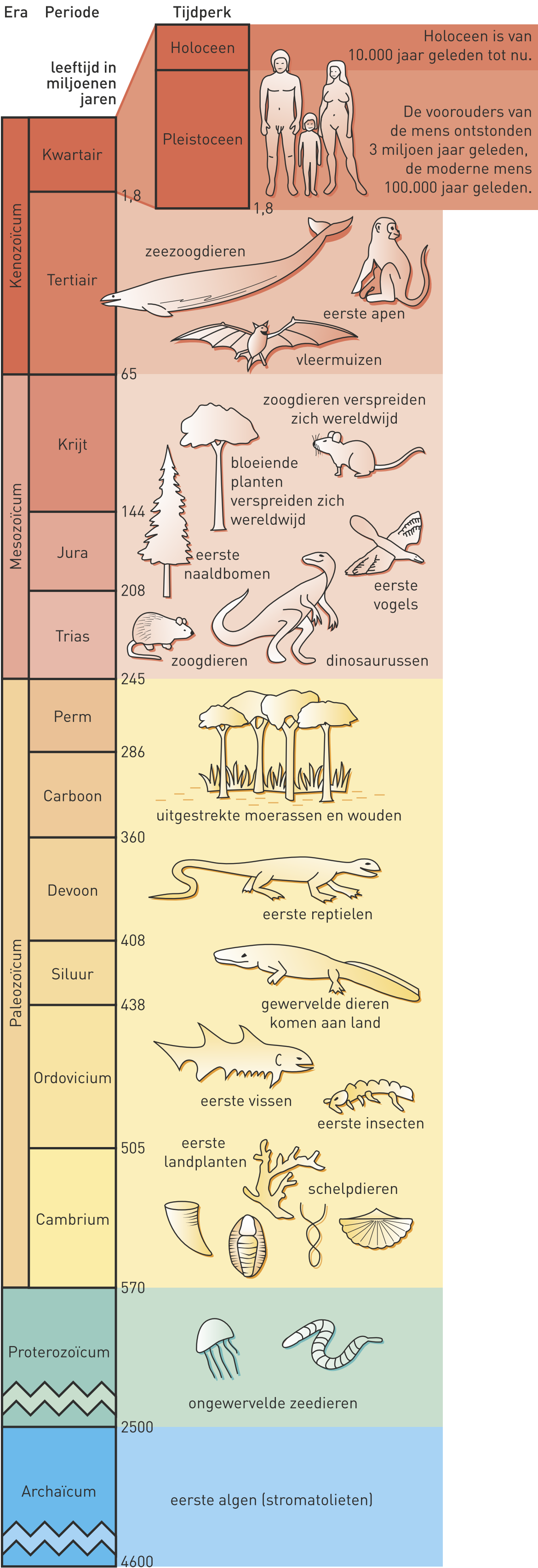
▶ We hebben veel informatie over het klimaat in het Perm, een geologische periode die grofweg duurde van 300 miljoen jaar tot 250 miljoen jaar geleden. Dit komt door fossielen- en gesteenteonderzoek en een reconstructie van de plaattektonische bewegingen. Sedimenten die in die tijd op de oceaanbodems zijn gevormd, kunnen via diepzeeboringen naar boven worden gehaald. Met name voor de tijd vanaf het Perm is het gelukt de ligging van de continenten te reconstrueren. Continentverschuiving en de daarmee gepaard gaande zeespiegelbewegingen zijn bepalend geweest voor het klimaat. Voordat je hier dieper op ingaat, moet je dus eerst het een en ander weten over de beweging van de schollen waaruit de aardkorst is opgebouwd.

## Alfred Wegener

▶ In 1915 publiceerde de Duitser Alfred Wegener een boek waarin hij een idee van de Engelse wetenschapper Bacon uitbouwde. Niet alleen Afrika en Amerika pasten volgens hem in elkaar, alle continenten hadden in het verre verleden aan elkaar vast gezeten. Wegener noemde dit oercontinent Pangea en de oeroceaan die het omgaf Pantalassa (figuur 2.2). Pas in de jaren zestig van de vorige eeuw kwamen nieuwe feiten aan het licht. Door het later uiteenvallen van Pangea waren volgens hem de huidige continenten en oceanen gevormd. Wegener had bedacht dat Pangea bestond uit twee grote stukken: in het noorden Laurazië en in het zuiden Gondwana. Vandaag de dag zijn Europa, Azië en Noord-Amerika restanten van Laurazië; Zuid-Amerika, Afrika, India, Australië en Antarctica zijn overblijfselen van Gondwana. Hoewel hij talloze bewijzen voor zijn theorie had, kon Wegener niet verklaren waarom Pangea was opengebroken en waarom de continenten bewogen. Hij kon, met andere woorden, geen mechanisme achter de drift van de continenten vinden. De meeste geologen uit zijn tijd vonden zijn theorie daarom ook belachelijk. Wegener bleef gedurende zijn hele leven zoeken naar de drijvende kracht achter de continentale drift, maar tevergeefs.

> Pangea






Figuur 2.1 Geologische tijdschaal.



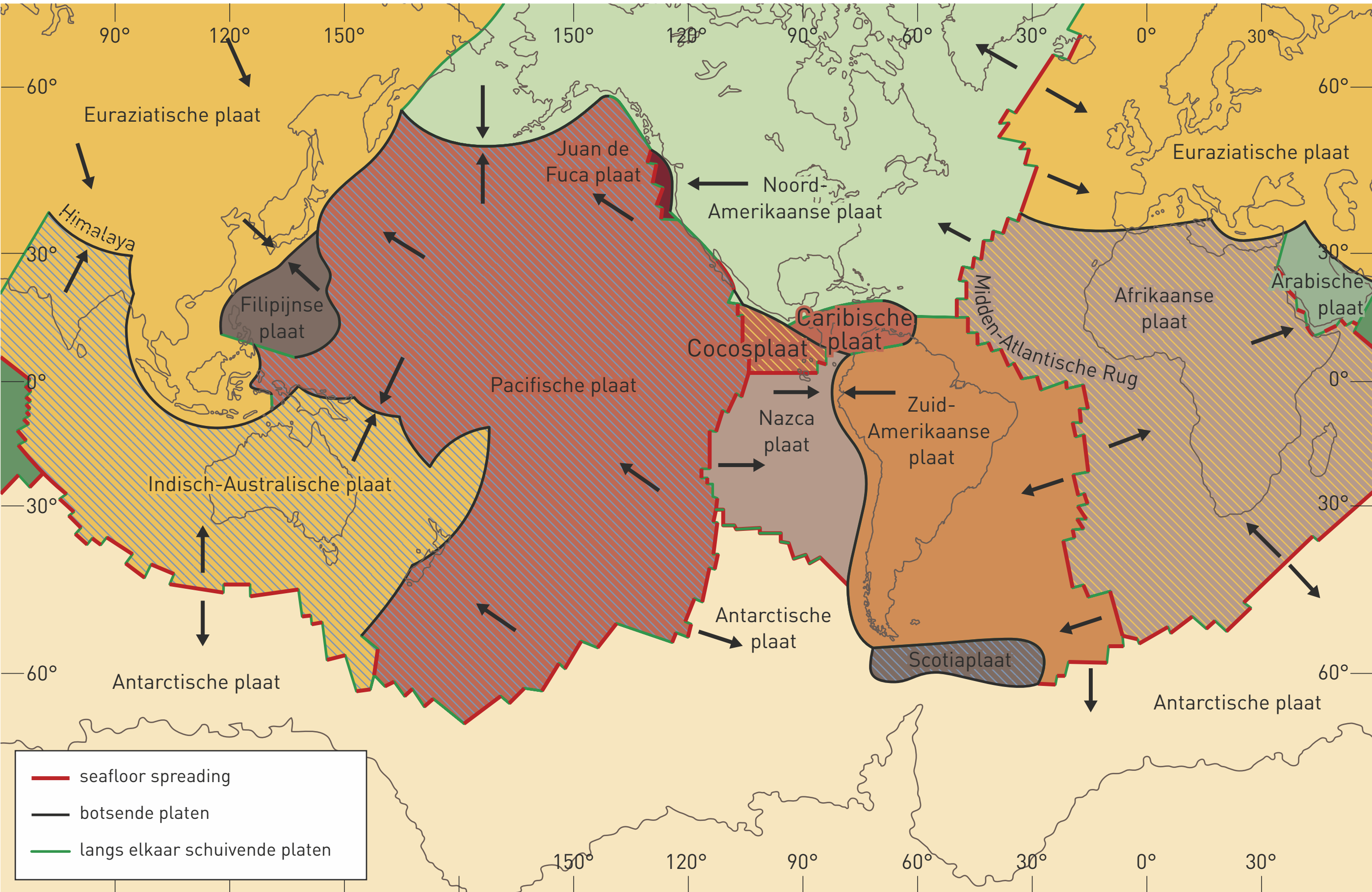

Figuur 2.2 Pangea, 250 miljoen jaar geleden.

Pas in de jaren zestig van de vorige eeuw kwamen nieuwe feiten aan het licht.

## Platentektoniek

▶ Al lang was bekend dat in het midden van de Atlantische Oceaan een gebergterug loopt, de Midden-Atlantische Rug, die zich uitstrekt van IJsland tot Antarctica. Pas halverwege de vorige eeuw werd duidelijk dat dit onderzeese gebergte niet uniek is, omdat zulke gebergtegordels ook in de andere oceanen liggen. Nader onderzoek van het gesteente dat van de oceaanbodem werd opgevist, toonde aan dat het veel jonger was dan het gesteente van de continenten. Terwijl de aardkorst onder de oceanen nergens ouder is dan 180 miljoen jaar, zijn sommige gesteenten van de continenten vier miljard jaar oud.
▶ Maar er werd meer ontdekt. Hoe verder weg van de onderzeese gebergteketens het gesteente werd gevonden, hoe ouder het bleek te zijn. Het jongste gesteente ligt dus midden in in de oceanen en het oudste ligt tegen de continenten aan. Blijkbaar vernieuwt het gesteente in de oceanen zich telkens. Midden in de gebergtes lopen een soort pijpleidingen waaruit magma uit het binnenste van de aarde naar boven komt. Nieuw gesteente dat zo wordt gevormd, wordt binnen afzienbare tijd weer horizontaal verplaatst door weer nieuwer gesteente dat opwelt. Dit proces wordt seafloor spreading genoemd.

> seafloor spreading

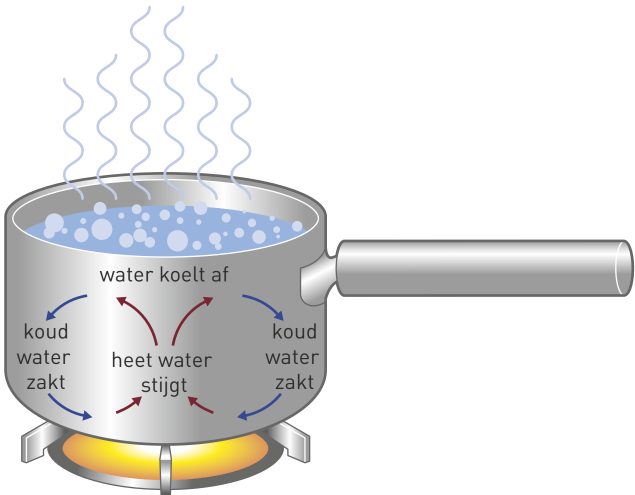



**Figuur 2.3** De belangrijkste platen en hun beweging op aarde.

▶ De aardkorst is blijkbaar niet een aaneengesloten stuk, maar bestaat uit allemaal delen die bij de midoceanische ruggen uit elkaar drijven. De oceaanbodem beweegt horizontaal en neemt de continenten mee. Maar als de platen aangroeien op de oceaanbodem, moeten ze ergens anders worden afgebroken om plaats te maken voor de nieuwe aardkorst. Er zijn dus plekken op aarde waar de platen met elkaar botsen en waar de ene plaat onder de andere duikt en wordt vernietigd.

▶ De beweging van de platen wordt aangedreven door de inwendige warmte van de aarde. Het binnenste van de aarde is nog zeer heet en deze warmte zoekt een weg naar het oppervlak. Dit kun je vergelijken met een pannetje water dat op het vuur staat. Het water onder de vlam is het heetst en stijgt op. Bij het oppervlak aangekomen is het inmiddels zover afgekoeld dat het weer naar beneden zakt (figuur 2.4). Dit gebeurt ook met het vloeibare gesteente in de aarde. Op deze manier ontstaan kringlopen die convectiestromen worden genoemd. In de gebieden waar de convectiestromen naar boven komen, wordt de aardkorst omhoog gedrukt en scheurt deze. De platen wijken uiteen en het tussenliggende gebied wordt opgevuld met stollende magma, waardoor in de oceanen de midoceanische ruggen ontstaan.

> convectiestromen




**Figuur 2.4** Convectiestromen.





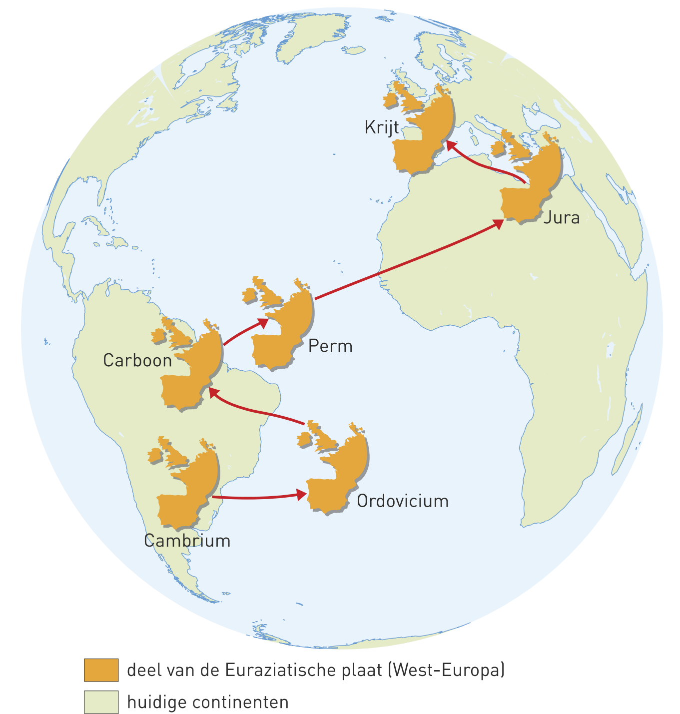
**Figuur 2.5** Monument Valley (V.S.), een prachtig voorbeeld van de 'Redhouse Earth'.

## Supercontinent

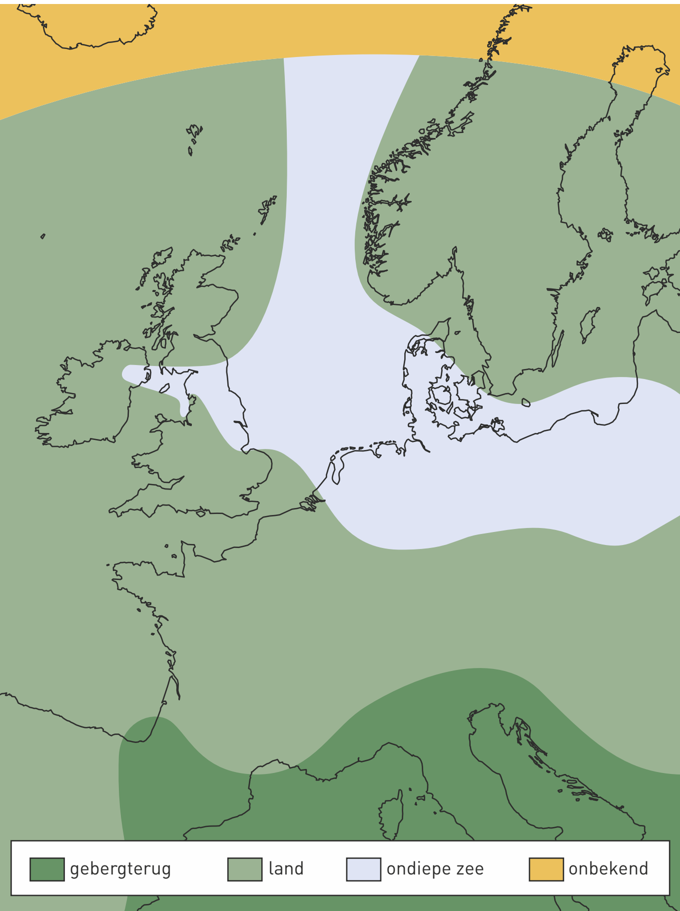
▶ In het Perm lagen de continenten aan elkaar in een oercontinent; het al eerder door Wegener genoemde Pangea. Het was ontstaan door botsing van platen. Oude gebergtes zoals de Ardennen in Europa, de Appalachen in de Verenigde Staten en het Uralgebergte in Rusland laten zien waar de platen tegen elkaar gebotst zijn. Dit supercontinent strekte zich uit van pool tot pool. In deze tijd kende een groot deel van de wereld een continentaal klimaat, omdat veel land ver van de oceaan lag. Het was erg droog en het grootste deel van de aarde was woestijngebied.

▶ Er was veel water opgeslagen in de ijskap van Gondwana. Hierdoor stond de zeespiegel relatief laag. Bij zo'n lage zeespiegelstand werden meer gesteenten blootgesteld aan verwering en erosie. Het afbraakmateriaal dat hierdoor ontstond, namen de rivieren mee naar de oceanen. De flora en fauna in de oceanen kregen zo de beschikking over meer voedingsstoffen en konden flink gaan groeien. Een sterke plantengroei leidde weer tot onttrekking van veel $CO_2$ aan de atmosfeer (fotosynthese). Een laag $CO_2$-gehalte kon weer leiden tot vermindering van het broeikaseffect en dus tot afkoeling. Daardoor groeiden de ijskappen en daalde de zeespiegel nog verder.

● De zandlagen die in de woestijn werden afgezet, zijn op tal van plaatsen in het huidige landschap nog te herkennen. Ze hebben een kenmerkende rode kleur, die is ontstaan door de ijzerdeeltjes in het zand. Bekende voorbeelden vind je in de Grand Canyon, in Argentinië, in Spanje en aan de zuidkust van Groot-Brittannië.




**Figuur 2.6** De zwerftocht van West-Europa over de aarde.




**Figuur 2.7** De situatie van 'Nederland' in het Perm.

## Zout in Nederland

▶ Ook in Nederland tref je lagen zandsteen aan. Helaas kun je ze niet zien, doordat ze gemiddeld op vier à vijf kilometer diepte liggen. Gedurende het Perm lag het huidige Nederland op 20° à 30° N.B., ter hoogte van de huidige Sahara. Het maakte deel uit van een grote woestijn die zich van Engeland tot Polen uitstrekte en die was omgeven door gebergtes. Aan het einde van het Perm overstroomde dit gebied een aantal keren door een uitloper van de Panthalassa Oceaan. Deze binnenzee lag over de noordelijke helft van Duitsland en Polen. Als de zee zich had teruggetrokken, verdampte het water door het droge klimaat. Het gevolg was dat zoutkristallen zich op de bodem afzetten. Doordat het proces zich een aantal malen herhaalde, vormde zich in de Nederlandse bodem een zoutsteenlaag, die wel een kilometer dik kan zijn.

## Steenkool en aardgas in Nederland

▶ In de periode voorafgaand aan het Perm (het Carboon) lag het huidige Nederland op de wereldbol op de plek waar Suriname nu ligt. De begroeiing in het moerasachtige, tropische gebied rond de evenaar was weelderig. Grote varens en mangrovebossen strekten zich over grote oppervlakten uit. De afgestorven planten kwamen in het zuurstofarme water van de moerassen terecht. Zo vormden zich dikke veenlagen. Als planten droog zijn, bestaan ze voor ongeveer 50% uit koolstof en verder voornamelijk uit zuurstof en waterstof. Als dode planten in een zuurstofarme omgeving ontbinden, ontstaan vooral waterdamp, moerasgas en koolzuurgas. Deze gassen kunnen gemakkelijk ontsnappen. Bacteriën onttrekken bovendien ook veel zuurstof aan de plantenresten. Er verdwijnt op deze wijze relatief weinig koolstof, zodat het aandeel koolstof in de achterblijvende massa steeds verder toeneemt. Dit zogenaamde inkolingsproces gaat verder wanneer de plantenresten in de loop der tijd door dikke lagen andere sedimenten worden bedekt en dieper in de aardkorst bij een hogere temperatuur en een hogere druk worden samengeperst.
Als de plantenresten tijdens de inkoling snel worden bedekt door ondoorlatende lagen, kunnen de gevormde gassen niet naar de atmosfeer ontsnappen. De dikke zoutlagen uit het Perm vormden een uitstekend dekgesteente om de uit de plantenresten ontsnappende gassen tegen te houden. Maar aan dekgesteente alleen heb je niet genoeg; het gas moet ook in een gesteente kunnen worden opgeslagen. De zandlagen uit het Perm die onder het zoutpakket lagen, boden daar voldoende ruimte voor. Ze dienden dus als reservoirgesteente. De combinatie van zout- en zandlagen uit het Perm hebben zo bijgedragen tot het aardgasveld van Slochteren in Noord-Nederland, één van de grootste aardgasvelden in de wereld.

> dekgesteente



**Figuur 2.8** Het landschap van Nederland in het Carboon lijkt op dat van de huidige Mississippidelta.

> reservoirgesteente



## 2.2 Broeikasaarde

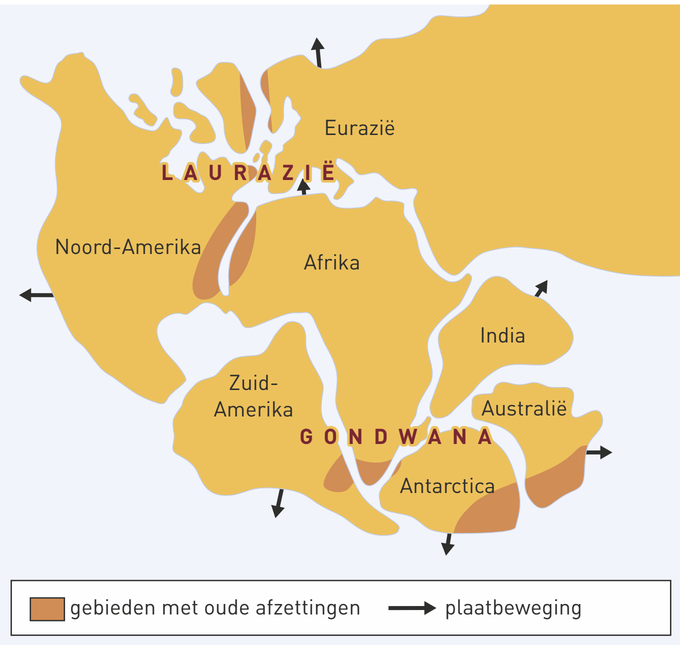
### Warmste periode ooit

Het Krijt (120 tot 66 miljoen jaar geleden) is de warmste periode die de aarde ooit heeft gekend. Het klimaat op aarde was tropisch tot subtropisch van de evenaar tot de polen; nergens lagen ijskappen. In Siberië wemelde het van de krokodillen en op Groenland groeiden palmbomen. In de ondiepe zeeën leefden en stierven zulke gigantische hoeveelheden eencellige organismen af dat hun skeletjes overal op aarde krijtlagen vormden van honderden meters dik. De 'white cliffs of Dover' vormen het directe bewijs hiervan.

### Scheuren

▶ Na het Perm scheurde Pangea open. De oorzaak daarvoor lag in het omkeren van de convectiestromen. Na de vorming van het supercontinent kon de aarde een deel van zijn interne warmte namelijk niet meer kwijt. Het continent lag als een soort afdeklaag op de aardmantel. Door het omkeren van de richting van de convectiestromen scheurde de afdeklaag en raakten de continenten op drift. Een voorbeeld van zo'n scheur is de Midden-Atlantische Rug in de Atlantische Oceaan die Zuid-Amerika en Afrika van elkaar scheidt.

● Na het openbreken van Pangea dreven de continenten versneld uit elkaar. Het uiteendrijven van het supercontinent ging vijf keer zo snel als de plaatbewegingen nu. Noord-Amerika kwam als eerste los en begon naar het noordwesten te drijven.



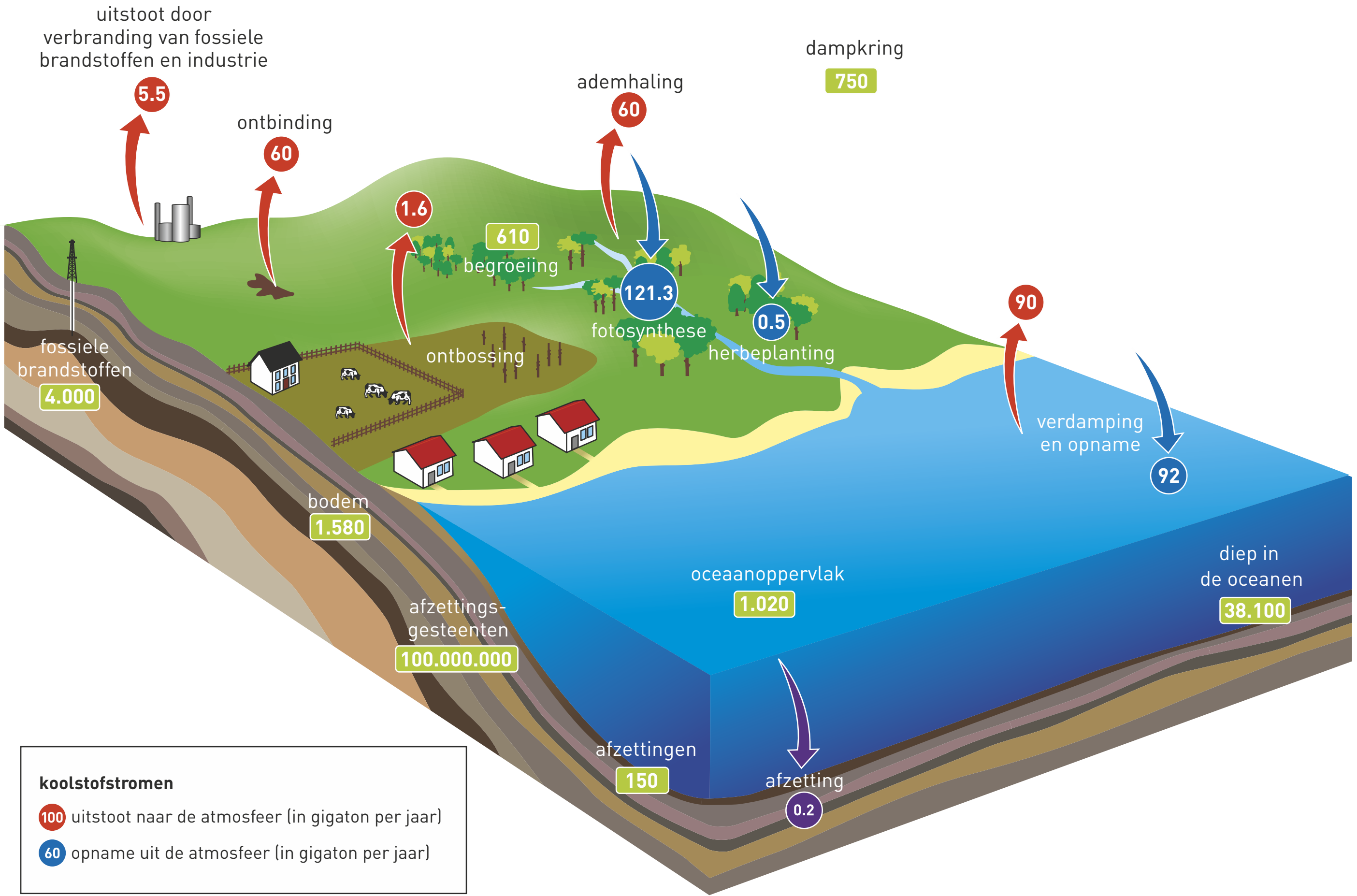

Figuur 2.9 Het uiteenvallen van Pangea.

In een later stadium raakte Zuid-Amerika los van Pangea, kwamen Madagascar en India los van Afrika en braken ook Antarctica en Australië van elkaar af.

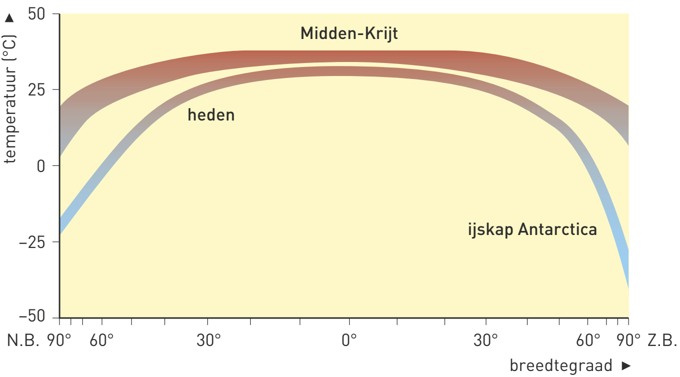
### Zeespiegel

▶ Door al deze plaatbewegingen ontstond een groot oppervlak aan nieuwe oceaanbodem. Gedurende het Krijt werd de Atlantische Oceaan bijvoorbeeld 10 cm groter per jaar. De






Figuur 2.10 De koolstofcyclus.

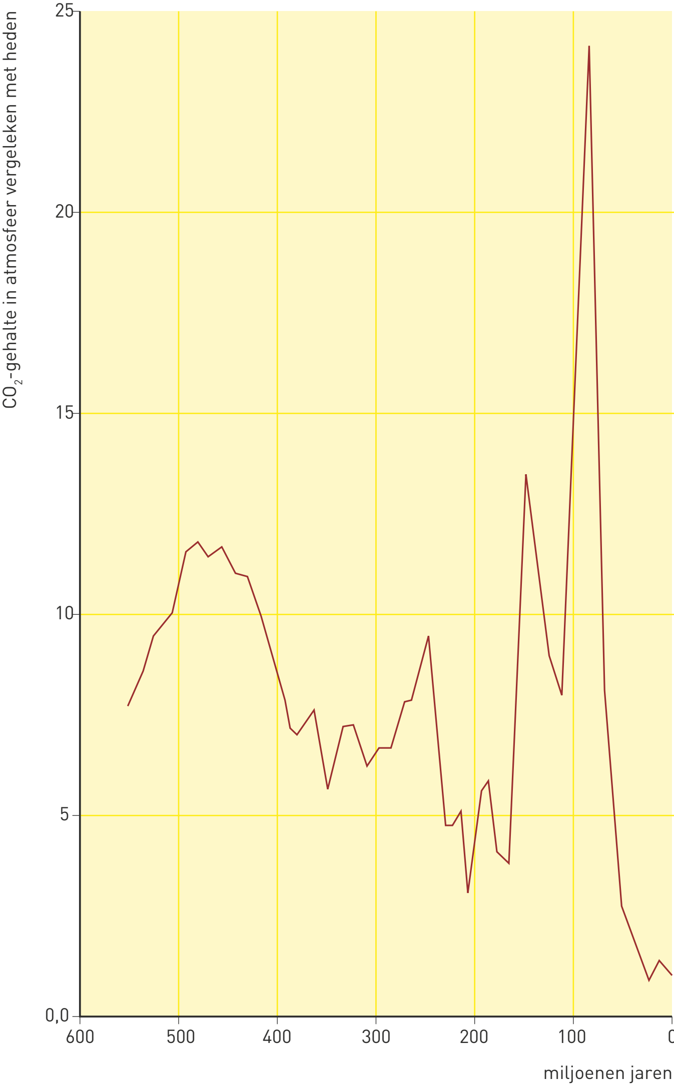



Figuur 2.11 De temperaturen in het Krijt en nu, op verschillende breedtegraden.

zeespiegel in die tijd stond 200 tot 300 meter hoger dan nu. Een groot deel van het huidige landoppervlak – schattingen lopen op tot 60% – stond onder water. De verklaring hiervoor heeft te maken met de dikte van de oceanische korst. In het algemeen kun je stellen dat de oceanische korst dunner is, naarmate je verder weg bent van de midoceanische ruggen. Bij de ruggen vindt immers vulkanisme plaats en zet het gesteente dat de oceanische korst vormt door de warmte uit. Verder weg is de warmte minder en krimpt het gesteente. De oceanen zijn ver ten oosten en ten westen van de midoceanische ruggen daarom ook meer dan twee keer zo diep als bij de ruggen zelf. In deze tijd, waarin de platen snel uit elkaar drijven, werd er veel nieuwe oceanische korst gevormd. Hierdoor was er weinig krimp en waren de oceanen ondiep. Het water moest echter ergens heen en stroomde uit over de continenten. Al het smeltwater van de ijskappen verdween ook in de oceanen. Als gevolg van de warmte zette ook het zeewater uit.

### Koolzuurgas

▶ Voor wetenschappers is deze periode vooral interessant omdat het $CO_2$-gehalte in de aardse atmosfeer toen op zijn hoogst was. Tegenwoordig is het $CO_2$-gehalte 385 delen per




**Figuur 2.12** Het $CO^2$-gehalte door de geologische tijd heen.

miljoen luchtdelen. Men schat dat er in het Krijt twintig keer zoveel koolzuurgas in de atmosfeer zat als nu, 4.000 à 5.000 delen per miljoen. Het snel uiteen drijven van de platen was hiervoor verantwoordelijk. Bij vulkaanuitbarstingen komen namelijk grote hoeveelheden vulkanische gassen in de atmosfeer. De hoge concentratie van $CO_2$ is ook verantwoordelijk voor het afsmelten van de ijskappen in deze tijd. IJskappen smelten af als de concentratie $CO_2$ in de atmosfeer hoger is dan 1.000 per miljoen delen.

▶ De grote vraag is natuurlijk: waar is al dat koolzuurgas gebleven? Het antwoord hierop vind je in de koolstofcyclus. De $CO_2$ in de lucht verbindt zich met waterdruppels en vormt koolzuur ($H_2CO_3$). Dit zwakke zuur valt samen met de neerslag op de gesteentes op aarde. Het natrium (Na), het kalium (K) en het calcium (Ca) waar de mineralen van deze gesteentes uit bestaan, lossen op en vormen klei. Deze klei wordt door de rivieren en het grondwater samen met het koolzuur naar de zee gebracht. Hier maken allerlei beestjes er kalkskeletten van. Uiteindelijk worden er dikke kalklagen gevormd. De mergel uit Zuid-Limburg is hier een voorbeeld van.

## ‘The past is the key to the present’

▶ Op basis van de gegevens die men ontleent aan deze warme periode, kunnen uitspraken voor het heden of zelfs de toekomst worden gedaan. De kennis van de omstandigheden en de processen in het verleden helpen om dat wat er nu en in de toekomst gebeurt, beter te begrijpen. Omgekeerd gaat dit natuurlijk ook op. Bij het actualiteitsprincipe wordt ervan uitgegaan dat het heden de sleutel is tot het verleden. Er wordt aangenomen dat processen in het verleden op dezelfde manier zijn verlopen als tegenwoordig het geval is.

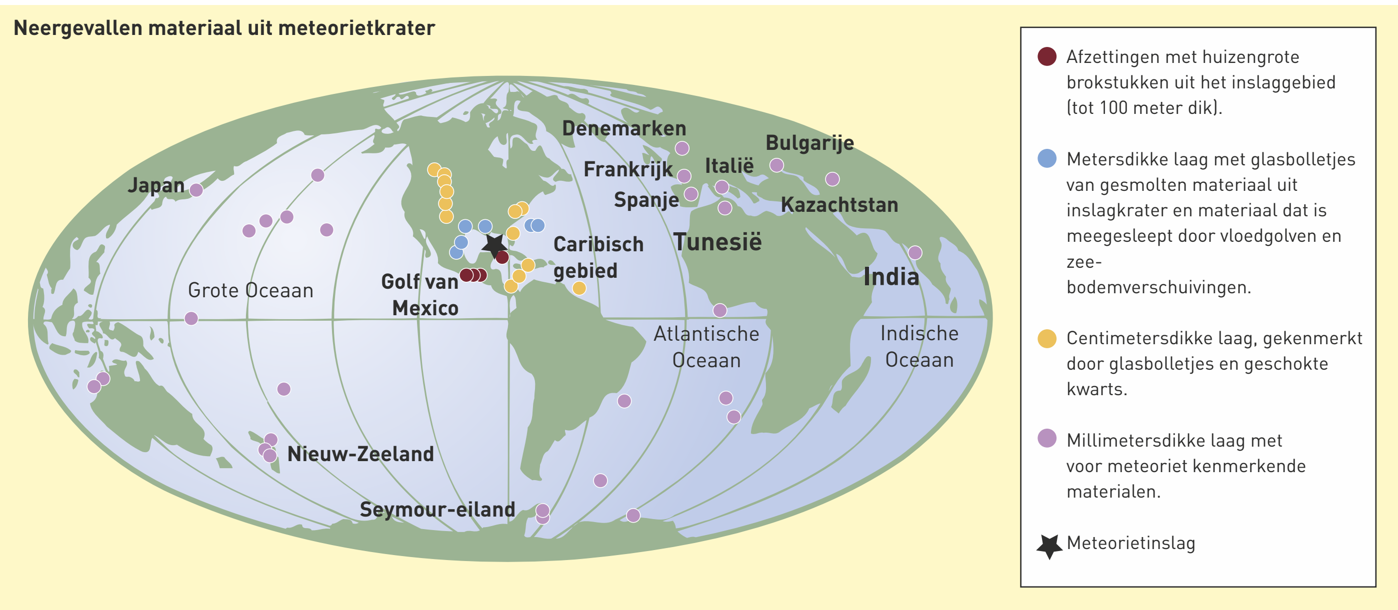
## Dinokiller?

▶ Over wat er op de grens tussen het Krijt en het Tertiair is gebeurd, verschillen de geleerden nogal van mening. Het is onomstreden dat er in die tijd een abrupte klimaatverandering plaatsvond. Hierdoor verdween 90% van het zeeleven en 70% van de bestaande flora en fauna op aarde. Veel dinosaurussoorten stierven in een relatief korte periode uit. Naar aanleiding van een onderzoek in de Apennijnen (Italië) aan het einde van de jaren zeventig van de twintigste eeuw ontstond de theorie van een geweldige meteorietinslag.

● Bij dit onderzoek zijn namelijk mariene sedimenten gevonden, die bestonden uit klei met een relatief hoog gehalte van het element iridium. Iridium is op aarde zeer zeldzaam, maar in meteorieten is het relatief veel aanwezig. Het hoge iridiumgehalte in de klei was volgens onderzoekers alleen maar toe te schrijven aan een geweldige meteorietinslag: de Krijt/Tertiairinslag. Je moet hierbij denken aan een meteoriet met een doorsnee van tussen de 10 en 20 km die een klap veroorzaakt die je kunt vergelijken met het tot ontploffing brengen van 10.000 keer de hoeveelheid van het nucleaire arsenaal op de wereld.
Op de rand van het Mexicaanse schiereiland Yucatan is een inslagkrater gevonden die uit die tijd stamt en die met een breedte van 180 km het juiste formaat heeft.

> actualiteitsprincipe






**Figuur 2.13** Bewijzen voor de meteorietinslag op de grens van het Krijt en het Tertiair.

● Later zijn er meer aanwijzingen gevonden voor de juistheid van deze theorie. Er zijn bijvoorbeeld mineralen gevonden die normaal gesproken op aarde niet voorkomen.
Ook werd er in de sedimenten veel koolstof aangetroffen. Dit is toe te schrijven aan de branden die na de klap over de gehele wereld moeten hebben gewoed. Een gevolg van de inslag was de vorming van geweldige hoeveelheden stikstofoxiden. Deze gingen een chemische reactie aan met de ozon in de atmosfeer. Daardoor werd de ozonlaag dunner en kwam er veel meer ultraviolette straling van de zon binnen. Als gevolg van de inslag kwam er ook veel fijn stof in de atmosfeer terecht. Het fijne stof blokkeerde het zonlicht en vervuilde de atmosfeer. Dit resulteerde in een afkoeling die een paar jaar geduurd kan hebben en die de temperatuur wereldwijd flink deed dalen. Ook het proces van fotosynthese werd ernstig verstoord en dit had weer tot gevolg dat hele voedselketens werden vernietigd.



# 2.3 IJstijdaarde

## Kwartair

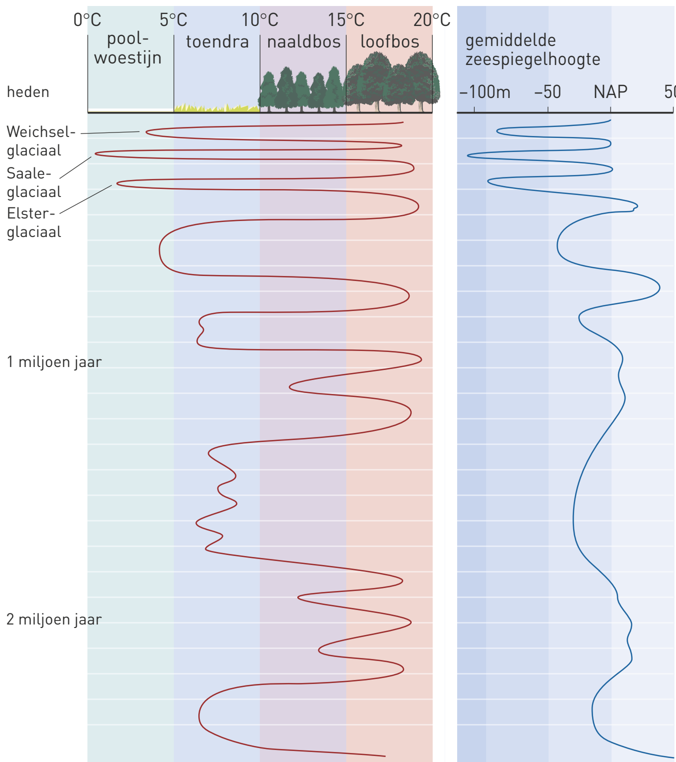
De geologische periode waarin wij ons nu bevinden, heet het Kwartair. De huidige positie van Nederland op de aardbol is bereikt. De temperatuurdaling die aan het eind van het Tertiair is ingezet, gaat door in het Kwartair. Het is de periode van grote continentale vergletsjeringen.

## IJstijden en warmere periodes

▶ Kenmerkend voor het Kwartair is een afwisseling van glacialen en interglacialen. Deze variatie is niet toe te schrijven aan één oorzaak. Tegenwoordig gaan we ervan uit dat ijstijden ontstaan door een complex samenspel van meerdere factoren die zich afspelen op verschillende tijdschalen.

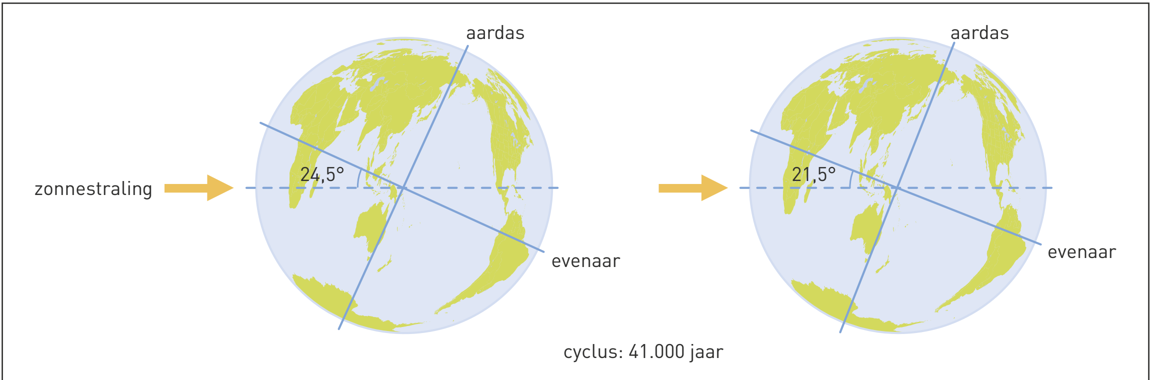
● De ligging van de continenten en het verschuiven hiervan als gevolg van platentektoniek is meestal de belangrijkste factor. IJskappen kunnen bijvoorbeeld alleen maar ontstaan op continenten. Eén van de voorwaarden voor een ijstijd is dus dat er land, het liefst veel land, in de omgeving van de polen ligt. Bijna vijftig miljoen jaar geleden lag Antarctica al wel ter hoogte van de Zuidpool, maar was het nog verbonden met Zuid-Amerika en Australië. Hierdoor kon het over land nog bereikt worden door een warme wind en liep er langs de kust nog een warme zeestroom. Pas toen Antarctica losbrak, stopte de warmtetoevoer en begon zich een ijskap te vormen.
Op de Noordpool bevond zich weliswaar geen landmassa, maar eromheen kwamen Noord-Amerika en Eurazië op steeds hogere breedte te liggen. Bovendien werd de Noordelijke IJszee steeds meer van de oceanen afgesneden. Hierdoor daalde de watertemperatuur. Toen het water eenmaal met ijs was bedekt, zorgde dit voor een sterke weerkaatsing van de zonnestralen en dus voor verdere afkoeling van het omringende land.

> glacialen
> interglacialen




**Figuur 2.14** Gemiddelde zomertemperatuur en gemiddelde zeespiegelhoogte in het Kwartair in het gebied dat nu Nederland is.






**Figuur 2.15** Scheefstelling.

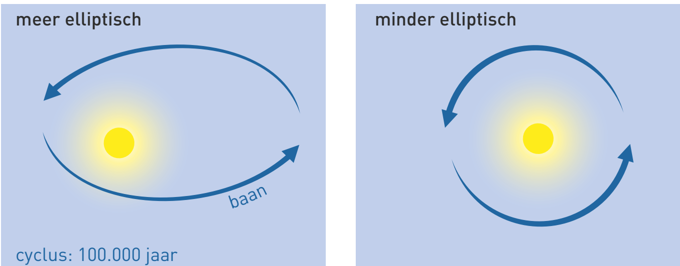
● De laatste 2,5 miljoen jaar zijn er echter twintig ijstijden geweest en dat zijn er te veel om ze toe te schrijven aan de platentektoniek. Wel belangrijk op deze tijdschaal zijn kleine veranderingen in de baan van de aarde om de zon en in de stand van de aardas. Hierdoor verandert de verdeling van de zonnestraling over de aarde. Let wel, de totale hoeveelheid energie die de aarde ontvangt, blijft constant, maar de verdeling per breedtegraad kan verschillen. Een reeks koude winters hoeft niet vanzelfsprekend een ijstijd tot gevolg te hebben. Het gaat erom dat in gebieden op hoge breedte in de winter meer sneeuw valt dan dat er in de zomer smelt. Er ontstaat dan een reeks van positieve terugkoppelingsmechanismen. De temperatuur daalt verder omdat de albedo van sneeuw groter is dan dat van bos of toendra. Het resultaat is het ontstaan van een ijskap die omhoog, de koudere luchtlagen in, groeit. Hierdoor wordt het weer kouder. De ijskap breidt zich ook zuidwaarts uit: het wordt te koud voor bomen en de toendra kaatst meer zonlicht terug dan bos. Een serie van minder strenge winters met veel neerslag in de vorm van sneeuw, gevolgd door koele zomers, zet dus veel meer zoden aan de dijk. Deze variaties vormen een belangrijk sturend mechanisme in het ontstaan van ijstijden.

## Milankovitch

▶ De sterkte van de zonnestraling die een plaats op aarde ontvangt, wisselt. De intensiteit hangt af van het seizoen, maar ook van de veranderende positie van de aarde in haar baan om de zon. De Servische wetenschapper Milankovitch heeft hier onderzoek naar gedaan. Vanwege de ontoegankelijkheid van de Servische taal duurde het tot 1969 voordat zijn bevindingen in het Engels werden gepubliceerd. Volgens de theorie die hij publiceerde in zijn boek 'Canon of Insolation of the Ice-Age Problem' zijn drie cycli verantwoordelijk voor de klimatologische variaties.

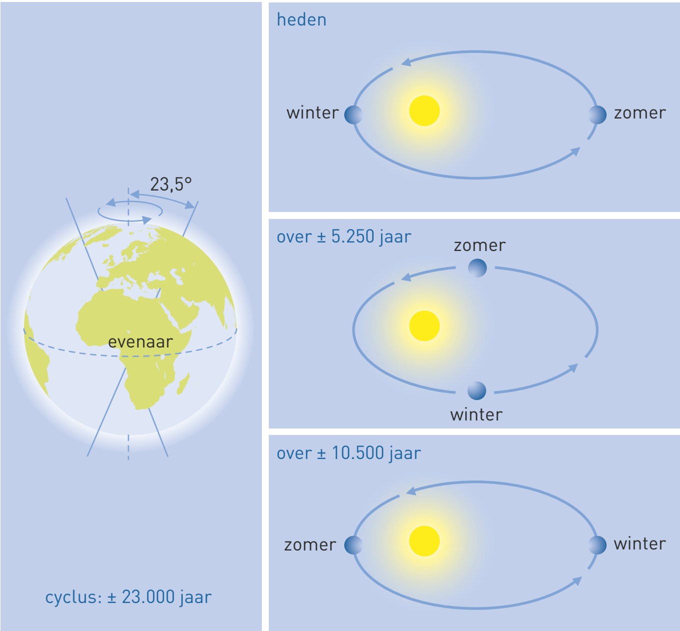
● Scheefstelling: de hoek van de aardas ten opzichte van de baan van de aarde om de zon. Als de aarde rechtop zou staan, zouden er geen seizoenen bestaan. Deze scheefstelling varieert echter in een periode van 41.000 jaar tussen de 21,5° en 24,5°. Momenteel bedraagt de helling 23,5°. Hoe steiler de hoek, hoe groter het verschil tussen zomer en winter (figuur 2.15).

● Excentriciteit: de ellipsvormige baan van de aarde om de zon wisselt om de 100.000 tot 400.000 jaar. Soms is de ellips bijna cirkelvormig, soms meer afgeplat (figuur 2.16).
Momenteel is de baan van de aarde om de zon bijna cirkelvormig. In juli staat de aarde het verst van de zon (152,6 miljoen km) weg en in januari het dichtstbij (147,5 miljoen km). Het verschil van meer dan 5 miljoen km is er verantwoordelijk voor dat de aarde in januari 7% meer zonne-energie ontvangt dan in juli. In tijden waarin de baan van de aarde erg excentrisch is, kan dit verschil oplopen tot tussen de 20 en 30%.




**Figuur 2.16** Excentriciteit.

> scheefstelling
> excentriciteit

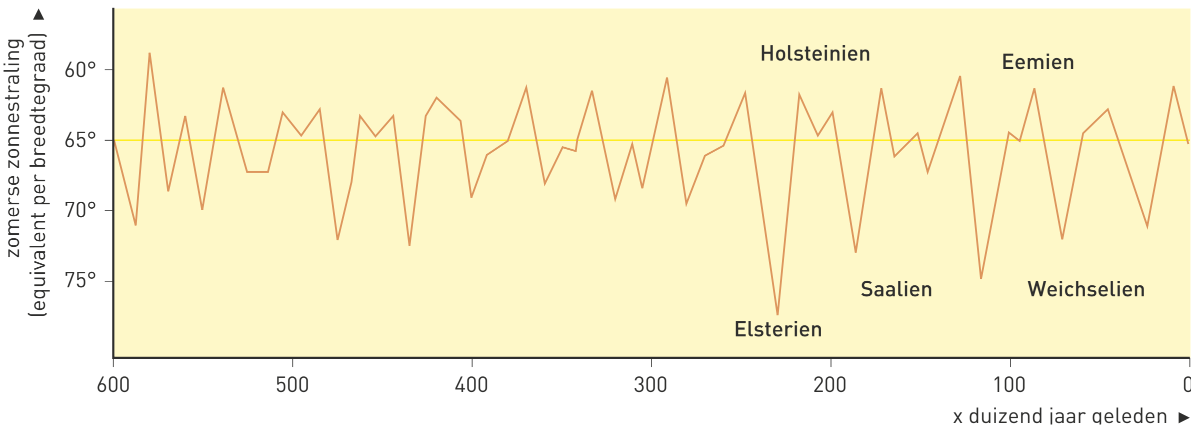



Figuur 2.17 Precessie.

● De minst belangrijke van de drie is de precessie: de schommeling van de aardas. Je kunt de aarde vergelijken met een wiebelende tol die niet helemaal strak om zijn eigen as draait. Dit verschijnsel treedt om de 19.000 tot 23.000 jaar op (figuur 2.17). Precessie heeft tot gevolg dat winter en zomer op een ander punt van de baan van de aarde om de zon worden bereikt. Momenteel staat de aarde tijdens de winter op het noordelijk halfrond het dichtst bij de zon en tijdens de zomer het verst weg. De winter duurt zeven dagen korter dan de zomer. Over ongeveer 10.000 jaar is dat omgekeerd. Dan is het op het noordelijk halfrond winter als de afstand van de aarde tot de zon het grootst is en staat in de zomer de aarde juist dicht bij de zon.

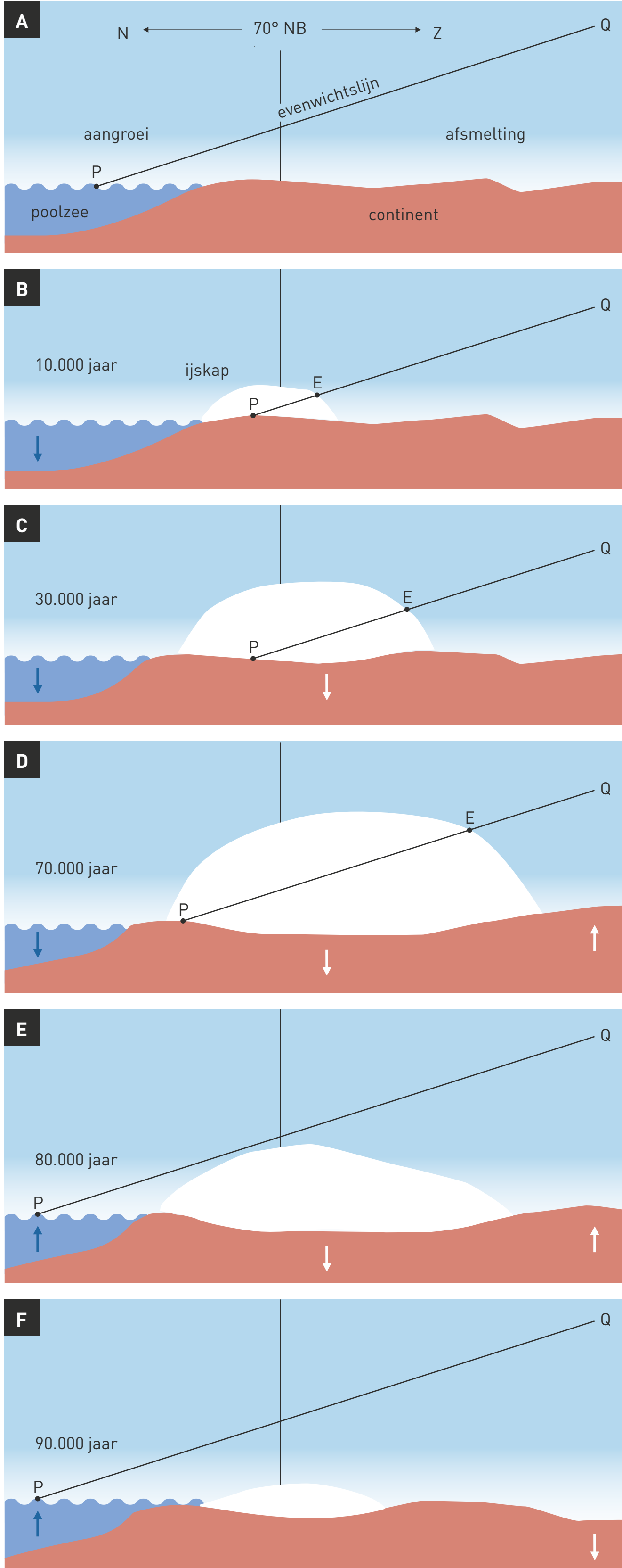
▶ Veranderingen in deze drie grootheden veroorzaken variaties in de hoeveelheid instraling die de aarde ontvangt. In figuur 2.18 zie je het resultaat van al het noeste rekenwerk van Milankovitch. Uitgangspunt in deze grafiek is een plaats die op 65° N.B. ligt. Door de verandering in stralingsdichtheid lijkt het soms of deze plaats op 60° N.B. ligt (warme periode) en soms op 70° N.B. of hoger (ijstijd). De maximale jaarlijkse variatie aan zonlicht die de aarde ontvangt tussen de uitersten van de Milankovitch-cycli, bedraagt minder dan 0,1%. Dit kleine verschil kan er wel voor zorgen dat de gemiddelde mondiale temperatuur stijgt of daalt met 5 °C. Waarom zulke kleine schommelingen in hoeveelheid ontvangen zonlicht zulke grote temperatuurveranderingen teweeg kunnen brengen, is nog niet duidelijk. Uit computersimulaties blijkt wel dat broeikasgassen hierin een belangrijke rol spelen.

▶ Aan de hand van figuur 2.19 kun je verklaren dat een ijstijd kan ontstaan door kleine veranderingen in de stand van de aardas. De lijn PQ is de sneeuwgrens, het evenwicht tussen het aangroeien en afsmelten van ijs. Tegenwoordig ligt deze bij de evenaar op bijna 5.000 meter en in Noorwegen op ongeveer 1.000 meter. Het aardoppervlak wordt bereikt in de Noordelijke IJszee. Zolang P in zee ligt, kan er geen ijskap worden gevormd. Komt P door een verandering in de stand van de aardas op het continent terecht, dan kan dit wel gebeuren. Dit was bijvoorbeeld het geval aan het einde van het Tertiair, toen de continenten van het noordelijk halfrond hun positie rond de Noordelijke IJszee innamen. De sneeuwgrens lag toen 1.000 meter lager dan nu. De ijskap kon zich uitbreiden, wat leidde tot een daling van de bodem. Hierdoor kwam een groter gedeelte van de ijskap in het afsmeltingsgebied te liggen. Als de stand van de aardas dan weer verandert, zal een nog groter deel van de ijskap afsmelten. Uiteindelijk verdwijnt de ijskap.




Figuur 2.18 De Milankovitch-curve.

> precessie




Figuur 2.19 Groei en afsmelten van een ijskap door veranderingen in de stand van de aardas.

## Andere factoren

▶ Variaties in de instraling zijn niet alleen verantwoordelijk voor de ijstijden in het Pleistoceen. Er treden ook nog allerlei positieve en negatieve terugkoppelingsmechanismen op. Het klimaat wordt ook bepaald door winden, neerslag, verdamping en zeestromen.

● Gedurende de ijstijden was 25% van het landoppervlak bedekt met ijs, tegenover 10% nu. De zeespiegel stond toen dan ook 120 meter lager dan nu. In die tijd zat Australië via een landbrug vast aan Nieuw-Guinea en stonden de Adriatische Zee en de Chinese Zee droog. Het huidige patroon van zeestromen, zoals je hebt kunnen lezen in hoofdstuk 1, was totaal anders. Er is geconstateerd dat dit stromingspatroon in ieder geval in de laatste ijstijd niet heeft bestaan. De Golfstroom kwam maar tot Portugal. Er werd dus geen warmte naar onze breedtegraad vervoerd.

● Ook vulkanische activiteit heeft invloed op de temperatuur. Bij grote uitbarstingen zoals die van de Krakatau (Indonesië, 1883) en de Pinatubo (Filipijnen, 1991) kunnen stofdeeltjes zelfs tot in de stratosfeer worden uitgestoten. Deze deeltjes blijven een paar jaar in de dampkring en reflecteren het zonlicht. Het aardoppervlak wordt daardoor koeler.



Figuur 2.20 Uitbarsting van de Mount St. Helens in de Verenigde Staten.



## 2.4 Reconstructie van klimaten uit het verleden

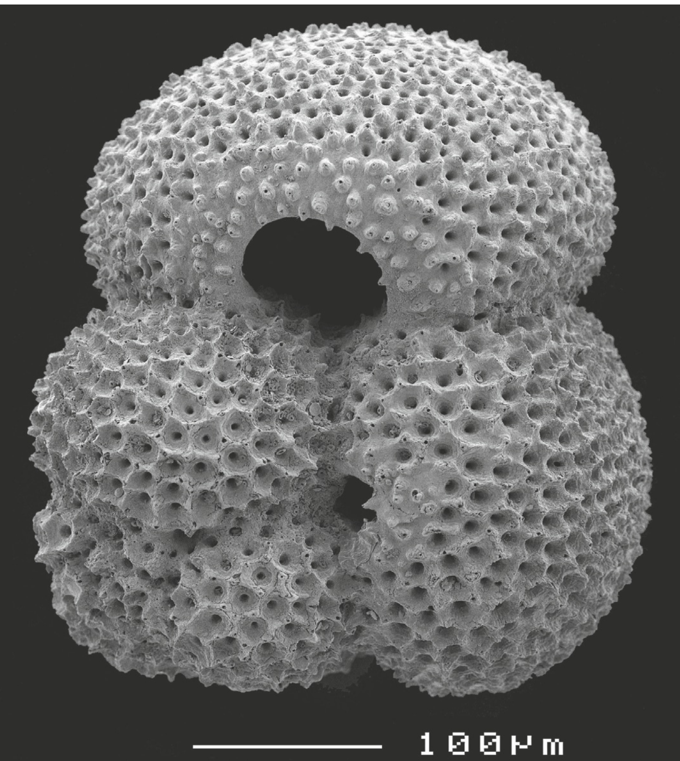
### Aanpassing aan de omstandigheden

'Fossiele schelpen laten zien dat het Amazonegebied al zeventien miljoen jaar dezelfde afwisseling van droge en natte seizoenen heeft. Geen wonder dat daar veel verschillende soorten planten en dieren voorkomen. Ze hebben alle tijd gehad om zich aan de omstandigheden aan te passen. Nederland was 15.000 jaar geleden nog een toendra. Niet zo gek dus dat onze meest exotische vogel de pimpelmees is,' aldus paleoklimatoloog Simon Troelstra in het blad 'Geografie'.

### Vroeger

▶ Kennis over vroegere klimaatveranderingen op aarde geeft inzicht in de huidige veranderingen. De paleoklimatologie is een wetenschap in opkomst. Vanuit diverse invalshoeken – zoals de sterrenkunde, de meteorologie, de geologie en de biologie – probeert deze wetenschap inzicht te krijgen in de vroegere klimaten op aarde en de mechanismen die veranderingen hebben veroorzaakt. Maar helaas, hoe verder je teruggaat in de geologische tijd, hoe minder gedetailleerd de gegevens worden.

▶ Om klimaten uit het verleden te reconstrueren, worden diverse methoden gebruikt. Voor veel van deze methoden geldt dat de uitkomsten van de metingen niet zo nauwkeurig zijn als bij de tegenwoordige metingen. Ze werken vaak met proxy-indicatoren. Deze indicatoren zeggen indirect iets over het klimaat in het verleden.




Figuur 2.21 Kalkskeletjes van ongeveer 0,5 mm.

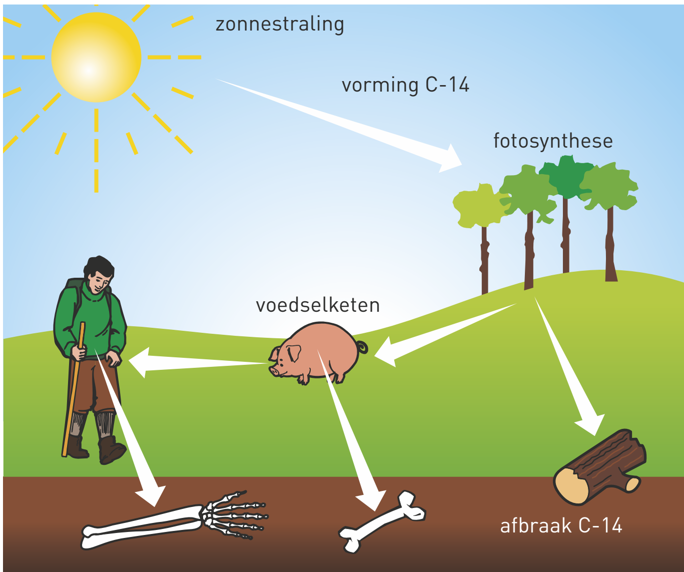
> paleoklimatologie

> proxy-indicatoren



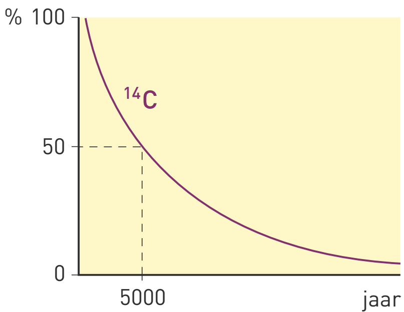
● Boringen in oceaanbodems zorgen voor een schat aan informatie over het klimaat van tientallen miljoenen jaren geleden. Door te kijken naar de isotopen van bepaalde elementen in sedimenten en fossielen kan de afwisseling van warmere en koudere perioden worden vastgesteld. Isotopen zijn atomen met dezelfde chemische eigenschappen, maar met verschillende atoomgewichten. Bijna 99,8% van alle zuurstof op aarde is $^{16}O$. $^{18}O$ is veel zeldzamer en is zwaarder doordat het twee extra neutronen heeft. Hierdoor verdampt het minder snel dan $^{16}O$. De organismen die in de oceanen leven, slaan zuurstof op in hun kalkskeletten. Ze doen dat in dezelfde verhouding als in het zeewater. In een warme tijd zijn ze dus rijker aan $^{16}O$. Door de verhouding $^{16}O$-$^{18}O$ in kalkhoudende fossiele resten te meten, kunnen wetenschappers het klimaat van vroeger reconstrueren.

Deze manier van onderzoek wordt ook toegepast bij boringen in de ijskappen van bijvoorbeeld Groenland en Antarctica. In 2004 wist men een boorkern van meer dan 3 km uit Antarctica naar boven te halen. Hoewel de datering nog niet af is, is het hiermee mogelijk om het klimaat te bepalen tot 400.000 jaar geleden. In glaciale perioden is veel neerslag vastgelegd in de vorm van ijs. In de ijskristallen is vooral de lichtere $^{16}O$-isotoop aanwezig. Bij een geringe verdamping van water is de gevormde waterdamp namelijk vooral verrijkt met $^{16}O$. In het zeewater blijft dus relatief veel van de zwaardere $^{18}O$-isotoop over. Als je veel van deze isotoop aantreft in kalkskeletten van zeeorganismen of in zeewater, duidt dat dus op een koudere periode.




Figuur 2.22 Opname en afbraak van koolstof.

> isotopen




Figuur 2.23 Halfwaardetijd van $^{14}C$.

● De $^{14}C$-methode wordt gebruikt om de ouderdom van organisch materiaal te bepalen. De methode is gebaseerd op het gegeven dat het gehalte aan de radioactieve koolstofisotoop, $^{14}C$, ongeveer constant is in de lucht, maar door radioactief verval afneemt in dood materiaal. De halfwaardetijd van $^{14}C$ is 5.736 jaar. Dit houdt in dat na 5.736 jaar de helft van alle C verdwenen is. Na ongeveer 60.000 jaar is dus alle $^{14}C$ verdwenen. Door het $^{14}C$-gehalte in het materiaal te bepalen en te vergelijken met een via onderzoek opgestelde ijkschaal, berekent men de ouderdom.

● Op de grens van de fysische geografie en de geologie ligt het vakgebied geomorfologie. Deze wetenschap legt zich toe op de beschrijving en de verklaring van de vormen in het landschap, zoals rivierdalen, berghellingen en kusten. Ook de geomorfologie heeft aanwijzingen opgeleverd voor vroegere klimaten. Een duidelijk voorbeeld is de aanwezigheid van stuwwallen, zwerfstenen en keileem in het Nederlandse landschap. Deze tonen niet alleen aan dat ons land ooit deels met ijs was bedekt, maar ook op welke manier.

Je vindt ook aanwijzingen door oude bodems te onderzoeken. De fysische en chemische samenstelling van bodems wordt immers mede bepaald door de atmosferische omstandigheden waaronder zij zijn gevormd. Lössafzettingen duiden bijvoorbeeld op glaciale perioden of een woestijnklimaat.

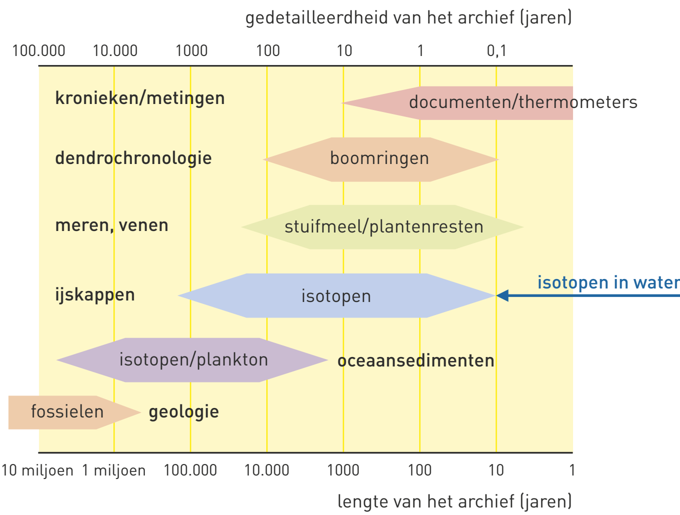
● Naarmate je dichter bij de huidige tijd komt, spelen andere technieken om gegevens te verkrijgen over de klimatologische omstandigheden een rol en neemt de nauwkeurigheid toe. Twee van de meest gebruikte technieken voor het bepalen van het klimaat tijdens het Holoceen zijn de pollenanalyse (palynologie) en het onderzoeken van de jaarringen van bomen (dendrochronologie). Stuifmeelkorrels van bomen,

> $^{14}C$-methode
> geomorfologie
> palynologie
> dendrochronologie



**Figuur 2.24** Jaarringen van bomen: hoe dikker de jaarring, hoe warmer en natter het klimaat.

struiken en planten blijven goed bewaard, omdat ze een wasachtig beschermend laagje hebben. De pollen van elke plant komen in groten getale voor, blijven goed bewaard en zijn allemaal anders van vorm. Door het tellen van de pollen van diverse vegetatiesoorten kun je veranderingen in de begroeiing vaststellen en dus ook veranderingen van het klimaat. Hierbij moet je er wel rekening mee houden dat pollen door de wind op een andere plek kunnen zijn terechtgekomen. Ook is het mogelijk dat ze uit oudere afzettingen zijn geërodeerd en opnieuw zijn afgezet in jongere sedimenten.




**Figuur 2.25** Onderzoeksmethoden voor klimaten in het verleden.

Bij het analyseren van jaarringen kun je ongeveer 11.000 jaar teruggaan. De dikte van de jaarringen geeft aanwijzingen over de klimatologische omstandigheden waaronder de bomen zijn gegroeid. Het blijkt dat met name de variaties in neerslaghoeveelheden van invloed zijn, meer nog dan temperatuurveranderingen.

● Bij het onderzoek naar het klimaat van de laatste paar duizend jaar kun je historische bronnen gebruiken. Bij gletsjers zie je soms bordjes staan met de tekst 'In 1980 lag de gletsjer tot hier'. Een instituut als het KNMI werd in 1854 opgericht door de inmiddels bekende wetenschapper Buys Ballot. Al meer dan 150 jaar worden er dus gegevens over het klimaat verzameld. Ook bij historische bronnen geldt: hoe ouder de bronnen, hoe minder betrouwbaar ze zijn.




**Figuur 2.26** Afsmelten van een gletser in de Jacabambavallei, Peru.



# **Begrippen** hoofdstuk 2

**Actualiteitsprincipe** 36
Principe waarbij ervan uitgegaan wordt dat natuurprocessen in het verleden en het heden op dezelfde manier verlopen.

**$^{14}C$-methode** 43
Ouderdomsbepaling aan de hand van het gehalte aan radioactieve koolstof.

**Convectiestroom** 30
Stroming van vloeibaar gesteente onder de aardkorst.

**Dekgesteente** 32
Gesteente dat voorkomt dat vloeibare of gasvormige delfstoffen kunnen ontsnappen.

**Dendrochronologie** 43
Ouderdomsbepaling door vergelijkend onderzoek van de jaarringen van bomen.

**Excentriciteit** 39
De verhouding van de grote en de kleine straal van de elliptische baan van de aarde om de zon.

**Geomorfologie** 43
Wetenschap die zich toelegt op de beschrijving en de verklaring van de vormen in het landschap.

**Glaciaal** 38
IJstijd.

**Interglaciaal** 38
Warmere periode tussen twee ijstijden.

**Isotoop** 43
Atoom met dezelfde chemische eigenschappen, maar met verschillende atoomgewichten.

**Paleoklimatologie** 40
Wetenschap die de vroegere klimaten op aarde onderzoekt en de mechanismen die hebben geleid tot veranderingen.

**Palynologie** 43
Wetenschap die fossiele stuifmeelkorrels en sporen van mossen en varens bestudeert (pollenanalyse).

**Pangea** 28
Oercontinent.

**Precessie** 40
Schommeling van de aardas.

**Proxy-indicatoren** 40
Indicatoren die indirect iets over een verschijnsel zeggen.

**Reservoirgesteente** 33
Poreus gesteente waarin een delfstof is opgeslagen.

**Scheefstelling** 39
De hoek die de aarde maakt met het baanvlak van de aarde om de zon.

**Seafloor spreading** 29
Het van elkaar af bewegen van de oceanische platen.



# 3 Klimaatverandering in perspectief SE

## Klimaatverandering

De eerste wetenschappers die zich bezighielden met klimaatverandering, leefden in de negentiende eeuw. Hun onderzoek ging nog niet veel verder dan het vergelijken van de opwarming van de atmosfeer met een broeikas en een constatering dat het gebruik van fossiele brandstoffen leidde tot een versterking van het natuurlijke broeikaseffect. Twee eeuwen verder is het klimaatdebat volop gaande. Eind vorige eeuw en begin deze eeuw waren er uitzonderlijk warme jaren. In 2005 ontwikkelden zich meer dan andere jaren krachtige orkanen boven het Caribisch gebied. De gevolgen van orkaan Katrina waren rampzalig. Daarentegen waren de winters van 2009 en 2010 in Nederland vrij koud. Welke kant het op gaat met het klimaat, is moeilijk te voorspellen. En de vraag of de mens bepalend is voor klimaatverandering, kun je ook niet simpelweg met ja of nee beantwoorden. Daarvoor zijn de klimaatsystemen te complex. Historisch gezien zal bij het klimaatvraagstuk ook de rol van de natuur betrokken moeten worden. Daarnaast moet je je afvragen of het 'erg' is als het klimaat verandert. Om die vraag te kunnen beoordelen, moet je weten wat de gevolgen van klimaatverandering zijn voor natuur en samenleving.





## 3.1 De geschiedenis herhaalt zich?

### De Kilimanjaro en het broeikaseffect

De Kilimanjaro in Tanzania is de hoogste berg van Afrika. Op de top is steeds minder sneeuw te vinden. Ontbossing, een proces dat daar al meer dan een eeuw aan de gang is, is één van de oorzaken voor het eerder smelten van de sneeuw. Kale grond houdt warmte immers beter vast dan een bebost gebied. De verklaring dat het smelten van de sneeuw (alleen) zou komen door het versterkte broeikaseffect, is in werkelijkheid complexer. Natuurlijke factoren, zoals verandering in de stand van de aardas en de variabiliteit van neerslag en verdamping, spelen ook een rol.

### Groenland

▶ Tachtig procent van Groenland is een groot gedeelte van het jaar bedekt met ijs. Die ijskap is na de Antarctische ijskap de grootste ijskap ter wereld en is maximaal 3 km dik. De naam Groenland zegt eigenlijk niet zoveel over de gebiedskenmerken van het eiland. Je zou zelfs veronderstellen dat Groenland vroeger een heel ander klimaat had. Wat vertelt het verleden ons over de toekomst? Wordt Groenland daadwerkelijk groen of refereert de naam alleen aan de gedachte van zijn ontdekker? De Viking Erik de Rode hoopte namelijk dat mensen zich in het nieuwe gebied zouden gaan vestigen als het land een 'vruchtbare' naam zou hebben. Vandaar de naam Groenland.

● De eerste bewoners van Groenland vestigden zich hier ongeveer 2.500 jaar voor Christus. Sporen van de eerste Inuitbewoners dateren uit die tijd. Sindsdien is Groenland telkens afwisselend bewoond geweest, vooral in het zuiden waar de klimatologische omstandigheden het beste waren. Met de komst van Erik de Rode (981) werd het land gekoloniseerd. De Vikingen leefden van de tiende tot in de veertiende eeuw op Groenland. Op grond van ijskernonderzoek (figuur 3.2) blijkt dat het klimaat in die tijd relatief zacht was. Bij boringen tot een diepte van ongeveer 2 kilometer zijn sporen gevonden van bomen en planten. Met het begin van de Kleine IJstijd brak een koudere periode aan waarin de leefomstandigheden minder gunstig werden. Door de strenge winters kon er minder graan



Figuur 3.1 Groenland.



Figuur 3.2 IJskernonderzoek.

geproduceerd worden. Ook de veeteelt en de jacht werden een stuk moeilijker, doordat het zee-ijs rondom Groenland langer bleef liggen dan gebruikelijk.

● De Inuit, een van oudsher nomadisch volk, blijkt zich beter aan te kunnen passen aan het klimaat dan de Vikingen destijds. De gevolgen van klimaatverandering waar ze nu mee te maken krijgen, betreffen vooral het smeltende zee-ijs. Daardoor wordt het transport over ijs minder betrouwbaar en neemt het risico op afbreken van ijs toe. Het leefgebied van de Inuit wordt dus kleiner en de jacht op walvissen, ijsberen en zeehonden komt in het geding. Bovendien heeft het smelten van de ijskap invloed op de zeestromen rondom Groenland en zijn er veranderingen in het weer merkbaar. Er is meer bewolking en meer kans op stormen. Voor schepen wordt het dan moeilijker om uit te varen en koers te houden. Hoewel de Inuitbevolking erg te lijden heeft onder de opwarming van de aarde, zien zij ook mogelijkheden voor de toekomst. De zomers worden langer, het smeltende ijs biedt mogelijkheden voor het uitbreiden van sommige vaarroutes, de biodiversiteit wordt groter en nog niet ontgonnen aardgas- en aardolievelden worden makkelijker winbaar.

▶ Een aantal samenhangende factoren komt telkens terug in de discussie over klimaatverandering. Temperatuurstijging heeft bijvoorbeeld gevolgen voor de ijsbedekking, maar veroorzaakt ook meer variabiliteit in neerslag. Bij een mondiaal warmer klimaat stijgt de zeespiegel door het uitzetten van zeewater en het smelten van bijvoorbeeld de ijskap op Groenland. Welke van deze factoren toegeschreven kunnen worden aan de natuur en wat de rol van de mens bij deze veranderingsprocessen is, is niet altijd meteen duidelijk. In figuur 3.3 kun je zien met welke scenario's Nederland in de toekomst rekening moet houden.

## Invloed van natuurlijke factoren

▶ Verschillende natuurlijke verschijnselen hebben in het verleden gezorgd voor een (tijdelijke) klimaatverandering, bijvoorbeeld vulkanisme, zeestromen en veranderende zonneactiviteit.

● Vulkaanuitbarstingen kunnen zorgen voor een lagere luchttemperatuur. Door de grote hoeveelheden stof reflecteert het zonlicht en treedt verkoeling op. De uitbarsting van de vulkaan Tambora in Indonesië, die in 1815 enorme stofwolken de lucht in blies, zorgde ervoor dat de temperatuur op aarde het daaropvolgende jaar ongeveer 0,5 tot 0,7 graden lager was. In 1816 kwam in Noord-Amerika tot laat in de zomer nachtvorst voor, en in Engeland lag tot in juni sneeuw. Ook regende het in Noordwest-Europa een groot deel van de zomer en waren er in heel Europa misoogsten.

■ Andere voorbeelden van vulkaanuitbarstingen met een merkbare invloed op de temperatuur zijn die van de Vesuvius (79), de Krakatau (1883), de Pinatubo (1991), en de Mount St. Helens (1980).

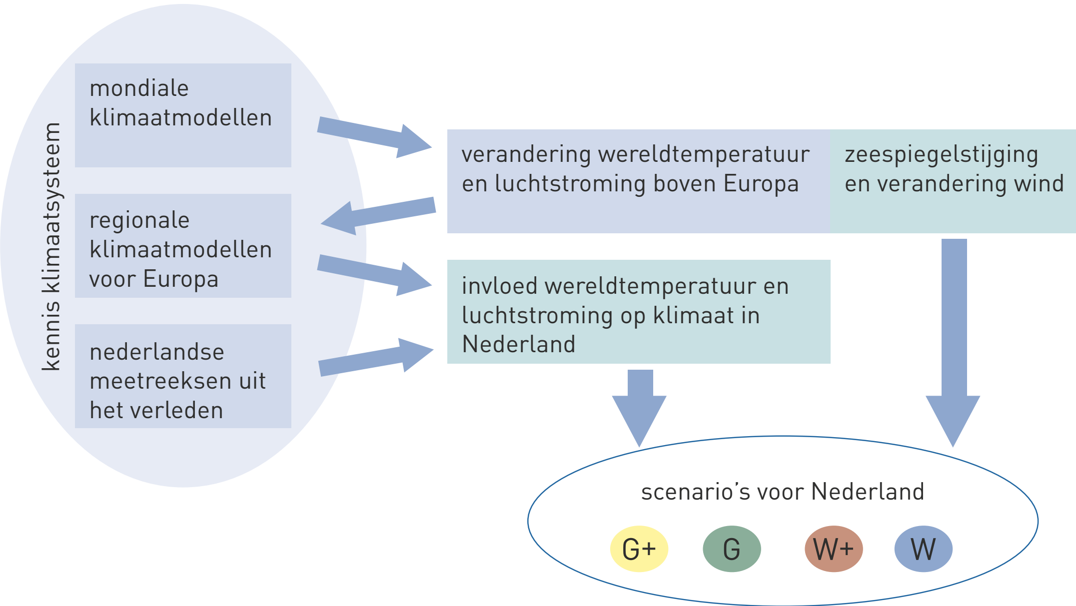
● Onregelmatig voorkomende factoren die het klimaatsysteem van buitenaf beïnvloeden, zijn moeilijk te voorspellen. Ze worden gerekend tot de externe variabelen. Hoe groot het effect van een vulkaanuitbarsting op de temperatuur is, hangt af van de kracht van de eruptie. Bij een zware explosie kan de as via de troposfeer op een hoogte van wel 12 kilometer de stratosfeer worden ingeblazen; bij middelgrote vulkaanuitbarstingen is dat ongeveer 8 kilometer. Als de as in de troposfeer blijft, komt deze met de regen terug in de atmosfeer. De natuurlijke gevolgen zijn dan niet zo groot. De as die nog een tijd in de atmosfeer blijft hangen, is kort voor zonsopgang en zonsondergang als rode schemeringsgloed op grote afstand van de vulkaan te zien.

● Een ander merkbaar effect op het klimaat hebben de zeestromen. In dit verband wordt er vaak gesproken over El Niño en La Niña (zie ook paragraaf 1.3). Deze natuurverschijnselen laten een tijdelijke klimaatverandering zien, waarbij vooral neerslagpatronen verstoord worden. Het ontstaan van oceaanstromingen en de gevolgen van veranderingen daarin zijn beschreven in hoofdstuk 1. Normaal gesproken welt er voor de Peruaanse kust vanuit de diepte koud, zuurstofrijk water op. Daarom zijn de visgronden er zo rijk. Maar elke twee tot zeven jaar is het water plotseling een stuk warmer en is de zee hierdoor juist visarm. Een enorme plas warm water 'wiebelt' – zoals in een bad – op en neer tussen de ene en de andere kant van de Grote Oceaan. De invloed van zeestromen op het klimaat wordt tot de interne variabelen gerekend.

■ La Niña is de tegenhanger van El Niño. Wanneer dit verschijnsel optreedt, zijn de winters in Peru iets droger en kouder dan normaal. Het zeewater is dan tijdelijk ook kouder, wat gunstig is voor de visstand.

● De zonneactiviteit kan ook invloed hebben op het klimaat. De zon heeft een cyclus van elf jaar, met actieve en rustige perioden. Wanneer de zon actief is, zijn er veel zonnevlekken en komen er ook regelmatig zonnevlammen voor. De zonnevlekken, die je kunt waarnemen als je met een beschermende kijker het zonneoppervlak bestudeert, zijn de wat minder hete plekken op de zon. De temperatuur is hier ongeveer 1.000 tot 1.500 graden lager dan de temperatuur aan het oppervlak van de zon (ongeveer 6.000 °C). Het aantal donkere vlekken is een maat voor de activiteit van de zon: hoe meer er te zien zijn, hoe actiever de zon. Een actieve zon geeft extra veel straling af waardoor het warmer wordt op aarde.

■ De relatief koude winter van 2010 kan veroorzaakt zijn door een lagere zonneactiviteit dan normaal. In Midden-Engeland is na onderzoek aangetoond dat er een zwak statistisch verband bestaat tussen de gemiddelde temperatuur in de wintermaanden en de zonneactiviteit.



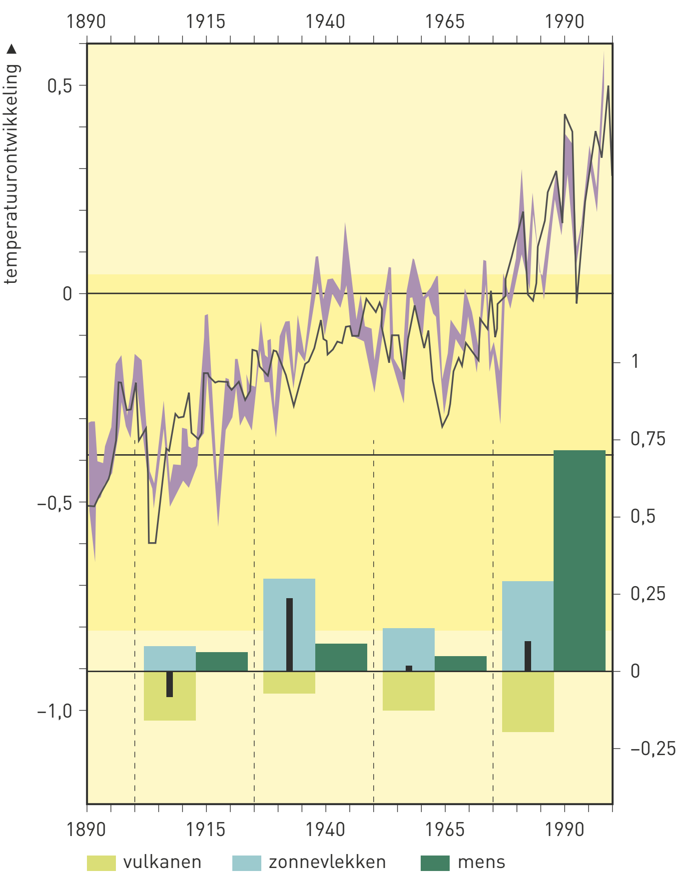

Figuur 3.3 Wat voor klimaat krijgt Nederland? Vier scenario's.



Figuur 3.4 Aswolk na uitbarsting van een vulkaan.

> externe variabelen

> interne variabelen




**Figuur 3.5** Het effect van verschillende factoren op de temperatuurontwikkeling.

▶ Het KNMI onderschrijft dat de hierboven genoemde natuurverschijnselen invloed kunnen hebben op de temperatuur. De temperatuurstijging in de eerste helft van de twintigste eeuw kan veroorzaakt zijn door een geringe vulkaanactiviteit en een toename van de zonneactiviteit. Ook het relatief warme zeewater van de Grote Oceaan (veroorzaakt door El Niño) heeft een sterke invloed op de temperatuurwisselingen door de jaren heen. In de tweede helft van de twintigste eeuw is het beeld echter anders. Figuur 3.5 laat zien dat de temperatuur steeds verder oploopt, terwijl er sindsdien grote vulkaanuitbarstingen plaatsvonden (o.a. Mount St. Helens en Pinatubo). De zonneactiviteit bleef in deze periode ongeveer gelijk. Hoewel onderzoekers het idee hebben dat er natuurlijke factoren zijn die het klimaat beïnvloeden, is het moeilijk te bewijzen hoe groot deze invloed daadwerkelijk is.

## De rol van de mens

▶ Om te kunnen bepalen in hoeverre de mens een rol speelt in de klimaatverandering, moet je een aantal economische en maatschappelijke ontwikkelingen uit het verleden beter bekijken. Het gaat dan om de effecten op het klimaat van:

- de opkomst en de ontwikkeling van de landbouw,
- de bevolkingsgroei en de industrialisatie,
- de toenemende mate van verstedelijking.

▶ Vanaf de opkomst van de landbouw in Europa en Azië, naar schatting zo'n 8.000 jaar geleden, begon de natuurlijkheid van het landschap te verdwijnen. De gevolgen voor het landschap waren aanvankelijk nog niet zo groot; pas in de middeleeuwen kwam hier verandering in. De bevolkingsgroei nam toe en hierdoor werd de vraag naar landbouwgrond steeds groter. Vanaf die tijd is in Europa in rap tempo begonnen met de ontbossing. Bossen en natuurlijke graslanden verdwenen door brandcultuur om plaats te maken voor akkers en weiden. Het platbranden zorgde voor een tijdelijk vruchtbare bodem. Het gekapte hout werd gebruikt als brandstof en voor de bouw van huizen en schepen.

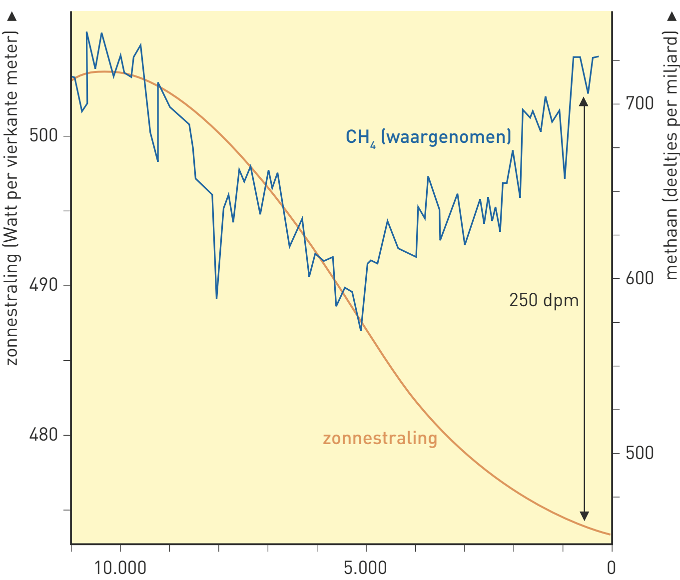
■ Ongeveer 5.000 jaar geleden was Europa grotendeels bedekt met naaldwoud en nog nauwelijks ontgonnen. Tegenwoordig is er nog maar weinig van het oorspronkelijke bos over. Voorbeelden van gebieden waar nog oerbos te vinden is, zijn Scandinavië en delen van Oost-Europa.

● Sinds de opkomst van de landbouw lijkt er een verband te bestaan tussen de hoeveelheid methaan die in de atmosfeer terechtkomt en de intensiteit van de zonnestraling. Tot ongeveer 8.000 jaar geleden verliep de ontwikkeling van deze twee variabelen nagenoeg gelijk, terwijl de periode daarna een afwijkende beeld vertoont. De hoeveelheid van het broeikasgas methaan (of moerasgas) neemt duidelijk toe.

● Uit onderzoek in de tropen blijkt dat de Milankovitch-cyclus (zie hoofdstuk 1) effect heeft op de intensiteit van de moesson. In natte tijden komt methaan vrij door rottingsprocessen in de 'wetlands', de moerassen, de meren en de overstromingsgebieden van rivieren. De opkomst van de natte rijstteelt en irrigatie zorgen voor kunstmatige 'wetlands' met de trendbreuk die je in figuur 3.6 ziet als gevolg. Langzamerhand wordt steeds meer gebied door de mens ingericht voor huisvesting, economische doeleinden (industrie, bedrijven en kantoren) en transport. De eerste invloed van landbouwactiviteiten door

> broeikasgas






**Figuur 3.6** Toename van het broeikasgas methaan sinds de opkomst van de landbouw.

veelal nomadische volken op lokale en regionale schaal is door de toenemende menselijke beïnvloeding van het ecosysteem een rol gaan spelen op mondiale schaal.

■ De broeikaswerking van methaan is 21 keer sterker dan die van het broeikasgas $CO_2$. De stijging van het methaangehalte kan bijgedragen hebben aan het uitblijven van de afkoeling zoals deze op grond van de Milankovitch-cyclus te verwachten was. In het Pleistoceen duurden de interglacialen nooit langer dan 12.000 jaar.

▶ Bevolkingsgroei, industrialisatie en daaraan gekoppeld het gestegen energieverbruik hebben ook invloed op het klimaat.

● Vanaf 1800 groeit de wereldbevolking in twee eeuwen van 1 miljard naar 6 miljard mensen. De sterke groei werd veroorzaakt door een sterke daling van het sterftecijfer door steeds beter wordende hygiënische omstandigheden. Er kwam bijvoorbeeld riolering en veilig drinkwater. Bovendien zorgden betere voeding en de opkomst van nieuwe geneesmiddelen (penicilline aan het begin van de twintigste eeuw) ervoor dat de sterftekans afnam.

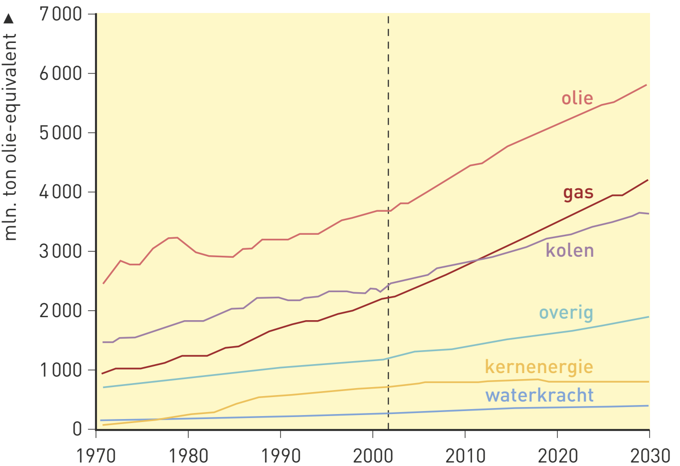
● Niet alleen de bevolkingsgroei, maar ook de industriële revolutie in de negentiende eeuw leidden tot een flinke toename van de verbranding van fossiele brandstoffen. Denk bijvoorbeeld maar aan de uitvinding van de stoommachine, waardoor er stoomtreinen en stoomboten kwamen. In eerste instantie werden deze machines vooral op steenkool gestookt, maar later werden ook olie en soms hout gebruikt. Het rendement uit kolen was laag, zodat er voor het gebruik van een



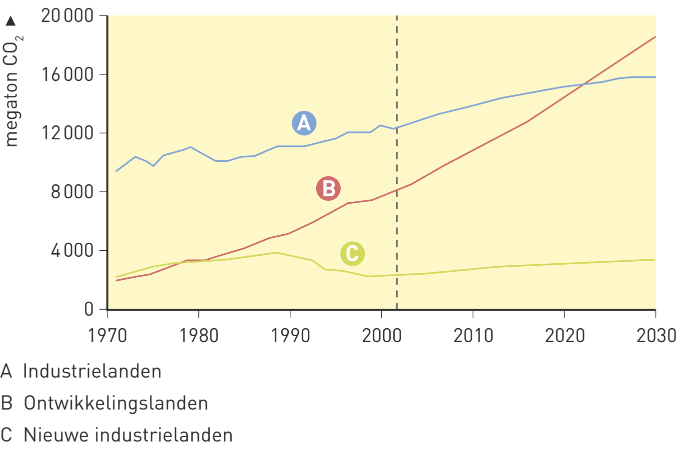

**Figuur 3.7** Stoomtrein als toeristische attractie.

stoommachine relatief veel steenkool nodig was. Tegenwoordig worden stoomtreinen vrijwel alleen nog maar gebruikt als toeristische attractie.

● Het toegenomen energieverbruik (figuur 3.8) is een direct gevolg van de industrialisatie en de bevolkingsgroei. Fossiele brandstoffen blijven in de periode tot 2030 nog van cruciaal belang. Omdat de vindplaatsen van fossiele brandstoffen steeds verder af liggen van de plekken waar de vraag naar energie het grootst is, zullen handel en transport sterk toenemen. De (sterke) toename van het energiegebruik komt vooral door de nieuwe industrielanden China, India en Brazilië. Deze landen kun je niet meer rekenen tot de ontwikkelingslanden. Door de snelle economische groei behoren ze tegenwoordig tot de semiperifere landen. De ontwikkelingslanden maken ook een stap voorwaarts in hun economische ontwikkeling, wat goed te zien is aan de toename van de $CO_2$-uitstoot (figuur 3.9). Toch




**Figuur 3.8** Ontwikkeling van het energiegebruik.




**Figuur 3.9** Ontwikkeling van de $CO_2$-uitstoot per regio.

verwacht men dat er tussen de industrielanden, de opkomende landen en de derdewereldlanden een verschil blijft bestaan in de $CO_2$-uitstoot per hoofd van de bevolking.

■ Economische groei heeft invloed op het consumptieve gedrag van de bevolking. In China bijvoorbeeld worden steeds meer luxegoederen verkocht. Voorheen konden maar weinig Chinezen zich een auto veroorloven. Daar is verandering in gekomen door de massaproductie van relatief goedkope Chinese auto's. Door deze ontwikkeling is het energieverbruik bij zowel de producent als de consument enorm gestegen.

▶ Ten slotte heeft de toenemende mate van verstedelijking invloed op de temperatuur. In veel grote steden is sprake van een zogeheten stadsklimaat.

● De temperatuur in de grote steden wijkt af van de temperatuur in de omliggende gebieden met minder bebouwing. (Regen)water in steden wordt versneld afgevoerd en heeft minder kans om te verdampen dan op het platteland. De instraling van de zon wordt daarom meer omgezet in voelbare warmte. Bovendien dringt warmte in steen veel verder door dan in open terrein. Steen heeft een grote warmtecapaciteit en houdt de warmte dus langer vast. Ook kaatst de straling die op het oppervlak valt, minder terug. De albedo (het percentage gereflecteerde straling) is in de stad kleiner dan in landelijke gebieden.

■ Het vliegverkeer boven stedelijke gebieden zorgt ook voor een hogere temperatuur. Toen het luchtruim boven New York na de aanslagen van 11 september gesloten was, was dit merkbaar doordat de temperatuur ongeveer 1 graad lager was dan gewoonlijk. De vliegtuigstrepen houden het zonlicht voor een deel tegen. Wanneer minder inkomende zonnestralen de aarde kunnen bereiken, is het overdag op het land koeler, terwijl de temperatuur 's nachts juist wat hoger blijft doordat de warmte tegengehouden wordt.

● Behalve de verstening heeft het (hoge) energiegebruik in grote steden ook invloed op de omgeving. Megasteden hebben door hun hoge bevolkingsdichtheid een hoog energieverbruik. Verder produceert de mens zelf veel warmte: naast het verstoken van fossiele brandstoffen in verkeer, huishoudens, industrie en energiecentrales, voegen we er ook nog onze eigen 'antropogene' warmte aan toe.

■ Gebouwen zijn ware energieverslinders door de verwarming en de airconditioning. Er is grote winst te behalen wanneer de bouwsector meer energiebesparende technieken (bijvoorbeeld isolatie) gaat gebruiken. Koude en warmte kunnen ook opgeslagen worden in de bodem. De Maastoren in Rotterdam, met 165 meter het hoogste gebouw van Nederland, maakt net als steeds meer andere gebouwen en nieuwbouwwijken gebruik van deze techniek. De verwarming en verkoeling van de Maastoren gebeurt voor 95% door gebruik te maken van de Maas als energiebron. In het waterrijke Nederland zijn de temperatuurverschillen van het rivier- en het oppervlaktewater in zomer en winter groot genoeg om de gewonnen energie te kunnen opslaan in de bodem. De vermindering van schadelijke $CO_2$-uitstoot kan in Nederland jaarlijks oplopen tot miljoenen tonnen.



**Figuur 3.10** Times Square in New York, een voorbeeld van hoog energieverbruik.





# 3.2 Gevolgen klimaatverandering voor laaggelegen kustgebieden

## Een ongemakkelijke waarheid

In 2006 werd de film 'An Incovenient Truth' uitgebracht. Deze documentaire over de gevolgen van klimaatverandering kon rekenen op een grote publieke belangstelling. Als er nu geen maatregelen genomen worden, kan het wel eens verkeerd aflopen met de aarde, is de boodschap die Al Gore de wereld instuurt. Maar er is ook kritiek: sommige beelden zijn fictief en overdrijven de gevolgen van klimaatverandering. Nederland wordt in de film als voorbeeld van een laaggelegen kustgebied genomen. Landen die onder of dicht bij de zeespiegel liggen, zullen de gevolgen van klimaatverandering als eerste merken.

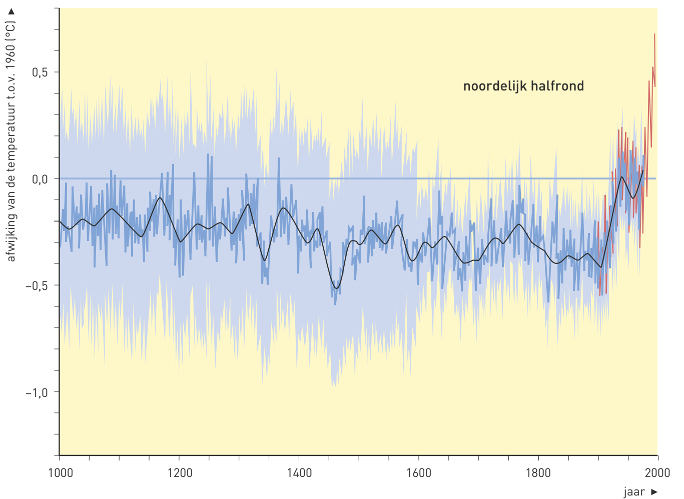
## Risico's van klimaatverandering

▶ Het Intergovernmental Panel on Climate Change houdt zich als een organisatie van de Verenigde Naties bezig met het in kaart brengen van de risico's van klimaatverandering. Hierbij zijn honderden deskundigen uit diverse landen betrokken. Het IPCC doet zelf geen onderzoek, maar evalueert wetenschappelijk onderzoek op het gebied van:

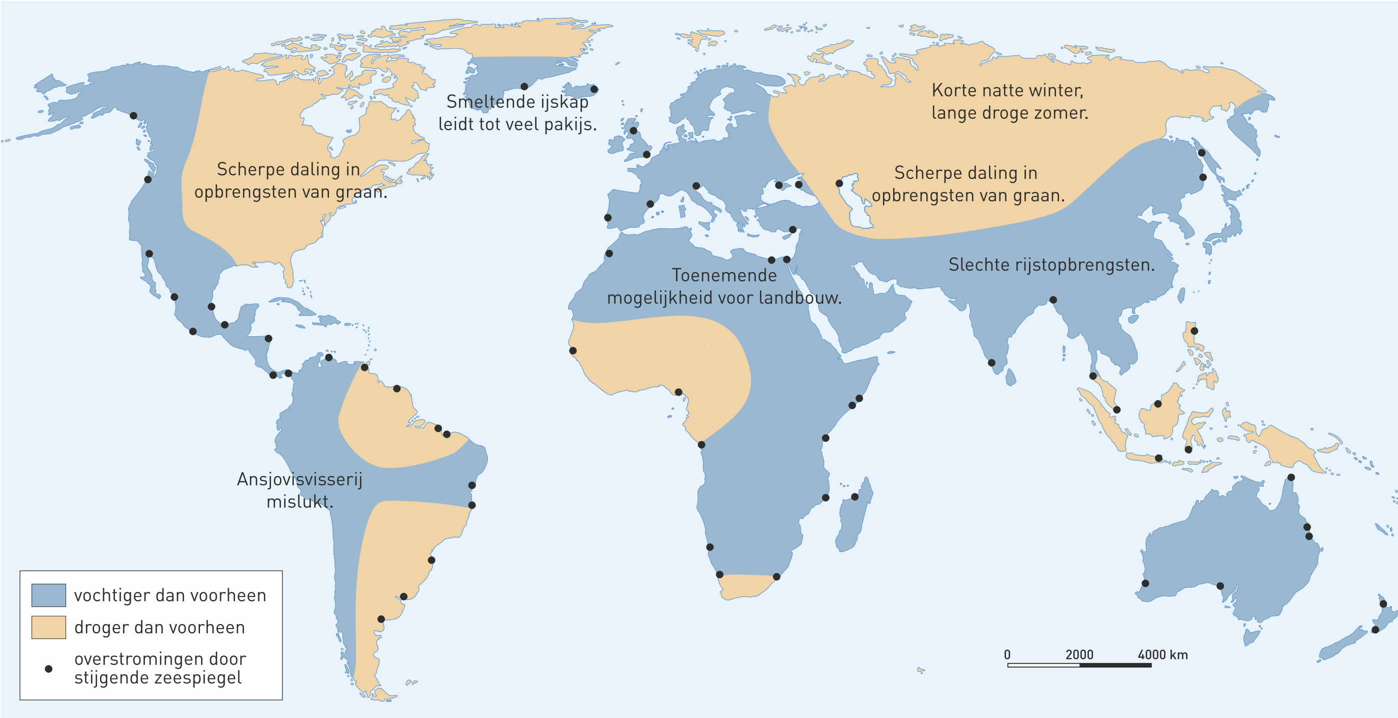
- de waterbalans: het smelten van landijs en het uitzetten van zeewater: de 'thermische expansie';
- de ecosystemen: bedreiging van de biodiversiteit;
- de kwetsbaarheid van kustgebieden: erosie en overstroming;
- de landbouw en visserij: het effect op de productiviteit;
- de industrie: de relatie met de versterking van het broeikaseffect;
- de gevaren voor de gezondheid.

> IPCC
> biodiversiteit

● Met behulp van computermodellen (scenario's) proberen klimatologen klimaatverandering en de risico's die daaraan verbonden zijn, naar waarde te schatten. Het model van de Amerikaanse klimatoloog Michael Mann vormt de basis van de IPCC-rapporten. De zogeheten 'hockeystickgrafiek' (figuur 3.11) laat zien dat de temperatuur vanaf de twintigste eeuw opmerkelijk stijgt. Berekeningen over de zeespiegelstijging zijn hieraan gekoppeld. De hockeystick is echter een suggestieve




**Figuur 3.11** De hockeystick.




Figuur 3.12 Gevolgen op wereldschaal als de temperatuur met 1 graad stijgt.

grafiek die lijkt te wijzen in de richting van de mens als boosdoener. Om die reden heeft de prognose die gebaseerd is op het model van Mann, veel kritiek ondervonden. Klimaatsceptici betwisten de volledigheid van het wetenschappelijk onderzoek en het is ook maar de vraag of de afwijking van het temperatuurverloop in de periode die in beeld gebracht wordt, representatief is voor het aandeel van de mens.

● De risico's die gebieden lopen, zijn verschillend van aard en hangen onder meer af van de temperatuurstijging. Wat de mogelijke gevolgen zijn, kun je zien in figuur 3.12 en 3.13. Hoewel de klimaatmodellen een grote onzekerheidsmarge hebben, vormen de scenario's een basis voor het klimaatbeleid. Het is namelijk niet rechtvaardig om af te wachten wat er gaat gebeuren. Bij het nemen van maatregelen is het belangrijk om te kijken naar de haalbaarheid van plannen en niet te vergeten wat de effectiviteit is in afzonderlijke landen. Het formuleren

| Scenario (jaar) | Temperatuurverandering | Zeespiegelstijging |
|---|---|---|
| Gematigd (2050) | + 1 °C | 15 - 25 cm |
| Warm (2050) | + 2 °C | 20 - 35 cm |
| Gematigd (2100) | + 2 °C | 35 - 60 cm |
| Warm (2100) | + 4 °C | 40 - 85 cm |

Figuur 3.13 Klimaatscenario's voor de temperatuurverandering en de zeespiegelstijging in Nederland.

van een toekomstverwachting, de forecasting, heeft immers weinig zin als je niet bereid bent naar de consequenties voor het heden kijken. Dit noem je backcasting. Hierna kun je lezen hoe één en ander in de praktijk uitwerkt. De gevolgen van klimaatverandering voor twee landen worden met elkaar vergeleken: Nederland en Bangladesh.

## Gevolgen van de klimaatverandering voor Nederland

▶ Volgens berekeningen van het KNMI zal de zeespiegel in Nederland enorm stijgen (figuur 3.12). Als gevolg hiervan is er een toenemende kans op overstromingen. In het kustgebied moet ook rekening worden gehouden met verzilting van landbouwgrond en de nadelige gevolgen voor de drinkwatervoorziening door de stijging van de zoutwaterspiegel. De overheid heeft veel geld beschikbaar gesteld om maatregelen te nemen tegen de gevolgen van klimaatverandering. De opgebouwde kennis die Nederland in de loop der eeuwen heeft opgedaan, is hierbij zeer waardevol.

> forecasting
> backcasting



Figuur 3.14 Dijkverzwaring in het rivierengebied.

● Na de watersnoodramp van 1953 zijn in het Zeeuwse kustgebied technische maatregelen genomen om zulke overstromingen in de toekomst te voorkomen. Dit project, beter bekend onder de naam Deltawerken, heeft Nederland toonaangevend gemaakt op het gebied van watermanagement. Kustverdediging is niet nieuw en de hierna beschreven maatregelen om overstromingen door de zee tegen te gaan, zullen de komende jaren aandacht blijven vragen.

● Rond het jaar 1000 begon de mens met dijkaanleg om zichzelf tegen het water te beschermen. Inmiddels ligt er in Nederland ongeveer 3.500 km aan primaire waterkering die ons land beschermt tegen overstromingen vanuit de zee, de grote rivieren en bijvoorbeeld het IJsselmeer. Bovendien zijn er in de provincies kanaaldijken en kades aangelegd die Nederland moeten beschermen tegen overstromingen vanuit de binnenwateren.

● Behalve dijkaanleg zijn dijkverzwaring en dijkverhoging ook maatregelen als het gaat om de strijd tegen het water. Het gaat hierbij om het hoger maken of versterken van dijken. Vooral in het rivierengebied zorgen de verzwaarde en verhoogde dijken voor bescherming tegen de hogere afvoer van de rivieren als gevolg van de temperatuurstijging. Voor de kustgebieden geldt dat er in toenemende mate zandsuppletie moet worden toegepast om de huidige kustlijn zo veel mogelijk in stand te houden.

▶ Het rivierbeleid en daarmee de maatregelen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, is sinds eind vorige eeuw




2009
populatie: 156 miljoen mensen
oppervlakte: 134.000 km²




Als de zeespiegel 1,5 m stijgt
aantal getroffen mensen: 23 miljoen (15%)
overstroomd oppervlak: 22.000 km² (16%)
overstroomd gebied

Figuur 3.15 Mogelijke gevolgen van de zeespiegelstijging voor Bangladesh.

> kustverdediging

> dijkaanleg
> dijkverzwaring

veranderd. Bij de laatste zeer hoge en bedreigende rivierstanden in Nederland in 1995 is gebleken dat een aantal woongebieden onvoldoende beschermd was tegen het water. In plaats van dijkverhoging en dijkverzwaring is gekozen voor een nieuwe aanpak: 'ruimte voor de rivier'. De twee belangrijkste doelstellingen van het beleidsplan zijn veiligheid en behoud van ruimtelijke kwaliteit.

▶ Nederland moet veel meer ruimte reserveren voor het bergen van overtollig water, en vooral bouwen op plaatsen waar geen overstromingen kunnen worden verwacht. Om grootschalige ontruiming van mensen als gevolg van overstromingen in de toekomst zo veel mogelijk te voorkomen, zijn sommige gebieden als overloopgebied aangewezen. Dit betekent dat een deel van bedijkte gebieden teruggegeven wordt aan de natuurlijke loop van rivieren. In perioden van hevige regenval en de verwerking van veel smeltwater vormen de rivieren dan een minder groot gevaar voor de mens.

■ Een andere maatregel is bijvoorbeeld de aanleg van nevengeulen in uiterwaarden. Dit vergroot de doorstroom zonder dat de uiterwaard in z'n geheel afgegraven hoeft te worden.

● Doordat de rivieren meer ruimte krijgen, moet het rivierengebied heringericht worden. Sommige gebieden krijgen een andere functie: woongebied kan bijvoorbeeld aangewezen worden als natuurgebied. Ook wordt bekeken welke gebieden geschikt zijn voor recreatie of voor economische doeleinden. Er wordt naar gestreefd de leefbaarheid en de ruimtelijke kwaliteit van het rivierengebied zo veel mogelijk te behouden.

## Gevolgen van de klimaatverandering voor Bangladesh

▶ Waarom wonen er zoveel mensen in een gebied dat door jaarlijks terugkerende overstromingen veel slachtoffers eist, zul je je afvragen. De Bengalen zullen deze vraag waarschijnlijk beantwoorden met het opnoemen van de voordelen van het overvloedige water. Het water zorgt voor de aanwas van vruchtbaar land, grote visvoorraden en groene rijstvelden.

● Bangladesh is net als Nederland een dichtbevolkt land met een lage ligging ten opzichte van het zeeniveau. De overeenkomsten tussen beide landen houden hiermee echter op. Terwijl de Nederlandse overheid vaak een doeltreffend waterbeleid voert en ook de financiële middelen heeft om maatregelen te treffen, blijft Bangladesh ver achter.

> ontruiming



Figuur 3.16 Bebouwing te dicht langs de rivier.

### Gevolgen van overstromingen in Bangladesh

Door de snelgroeiende bevolking is het in gebruik nemen van de riviervlaktes van de Ganges en de Brahmaputra vaak een noodgedwongen manier om te overleven. De bomen langs de rivier worden vaak gekapt, waardoor bij overstroming vaak hele stukken land in de rivier verdwijnen. Slechte of ontbrekende drainagesystemen zijn ook vaak mede de oorzaak van deze aardverschuivingen.
De sociale gevolgen van een overstroming zijn vaak enorm: duizenden dodelijke slachtoffers en soms wel miljoenen daklozen. Het aantal slachtoffers is zo groot doordat het natuurgeweld voor veel mensen onverwacht komt. Effectieve maatregelen, die ervoor moeten zorgen dat de kustlijn en de rivieroevers beschermd worden, ontbreken. De overheid heeft niet de middelen om te investeren in goedwerkende waarschuwingssystemen. Ook is er vaak geen evacuatieplan om bedreigde gebieden snel te kunnen ontruimen. Bijkomend gevolg is dat het verstrekken van noodhulp bemoeilijkt wordt door de slechte bereikbaarheid van de getroffen gebieden. Miljoenen milieuvluchtelingen zijn het gevolg.

Figuur 3.17

● Klimaatverandering ten gevolge van een versterkt broeikaseffect wordt grotendeels veroorzaakt door de kernlanden. De gevolgen van deze klimaatverandering zijn echter veel groter voor perifere landen, zoals Bangladesh. Een verdere zeespiegelstijging, een hogere afvoer en grotere verschillen in het debiet van rivieren en een toenemende kans op tropische stormen zullen in Bangladesh jaarlijks leiden tot meer overstromingen. De gevolgen van deze overstromingen zijn veel schade aan landbouwgrond en een groot aantal slachtoffers (figuren 3.16, 3.17 en 3.18).



Figuur 3.18 De moesson veroorzaakt ieder jaar overstromingen in Bangladesh.

● Een deel van de discussie over klimaatverandering gaat over de vraag wie er nu eigenlijk moet opdraaien voor de kosten. De regering van Bangladesh zal met internationale hulp maatregelen moeten treffen om de gevolgen van een toenemend aantal overstromingen te beperken. Nederland, expert op het gebied van watermanagement, financiert verschillende kleinschalige waterprojecten in Bangladesh. Dat hierbij rekening gehouden moet worden met de lokale situatie, is een les die Nederland in het verleden heeft geleerd (figuur 3.19).

▶ In Bangladesh komt 's zomers een moesson voor. Tijdens het regenseizoen (juni tot oktober) valt er veel meer neerslag dan de rivieren kunnen verwerken. Ongeveer 30 tot 40% van het land wordt in het natte seizoen getroffen door wateroverlast. Toen de drie grootste rivieren van het land, de Brahmaputra, de Ganges en de Meghna, in 2004 vrijwel tegelijkertijd buiten hun oevers traden, was dit zelfs meer dan 60%.

Tijdens de moesson komen ook tropische stormen voor. Deze cyclonen kunnen zorgen voor enorme vloedgolven langs de kust. Bij een stijgende zeespiegel betekent dit dat Bangladesh nog meer water te verwerken krijgt.

### Bengalen winnen de strijd tegen het water

De grootste fout in het waterbeheer die in de jaren zestig van de vorige eeuw gemaakt is, was het negeren van de lokale kennis en de participatie van de dorpelingen. Door de aanleg van ruim honderd polders nam de directe dreiging van wateroverlast af, zorgden de vruchtbare landbouwgronden voor recordoogsten en steeg de welvaart van de lokale bewoners aanzienlijk. Toch bleek de aanleg van deze polders op de lange termijn niet het gewenste effect te hebben. Het water kon alleen nog maar tussen de dijken in de kanalen en rivieren stromen, de enige plaats waar sediment kon worden achtergelaten. Het gevolg was een langzame stijging van de rivierbedding, waardoor de rivieren in de jaren negentig op sommige plaatsen zeer ondiep waren geworden. Tegelijkertijd klonken de polders in waardoor het niveau van het polderland lager kwam te liggen dan de rivierbedding. Rivierwater kon niet meer wegstromen uit de polders, met rottend, stilstaand water als gevolg. Omdat het vruchtbare slib uit de rivier de polders niet meer bereikte, raakten de landbouwgronden uitgeput. Bovendien daalde de visstand dramatisch.

Het nieuwe waterbeleid in Bangladesh richt zich nu veel meer op de situatie in de dorpen zelf. Hierbij wordt verder gedacht dan alleen het controleren van de watersituatie. De nieuwe aanpak heeft het dorpje Tetail, even buiten de hoofdstad, veel voorspoed gebracht. De sluis die onlangs voltooid is, betekent een revolutie voor het dorp. Generaties waren afhankelijk van de grillen van de rivier, maar vanaf nu hebben de dorpsbewoners de watersituatie zelf in de hand. Veel inwoners hebben zich intussen aangesloten bij de watercoöperatie van het dorp. Deze coöperatie kan goedkope kunstmest leveren, evenals kennis op het gebied van landbouw en bestrijdingsmiddelen en zelfs microkredieten voor de aanschaf van bijvoorbeeld een geit of een nieuw dak. Deze vorm van waterbeheer, waarbij de ontwikkeling van Bangladesh de inzet is, heeft de toekomst.

Figuur 3.19



# 3.3 Positieve en negatieve gevolgen van klimaatverandering

## Overwinteren in Zeeland?

Januari 2050. Steeds vaker kiezen zestigplussers ervoor om te overwinteren in Zeeland. De provincie met het hoogste aantal zonuren is geliefd bij zowel Nederlanders als Duitsers. Voorheen waren landen in het Middellandse Zeegebied, zoals Spanje, populair om er de winter door te brengen. Maar sinds deze gebieden steeds vaker te maken hebben met extreme hitte en droogte, waardoor het risico op bosbranden groot is, kiest men liever een bestemming dichter bij huis.

## Klimaatverandering: een lastig probleem

▶ Het klimaatprobleem is voor veel landen een ingewikkeld vraagstuk. In ruim een eeuw tijd is de temperatuur ongeveer 1 °C gestegen (figuur 3.5). Dit lijkt niet zo veel, maar een geleidelijke temperatuurstijging kan wel gevolgen hebben voor het klimaat op de langere termijn.

● De bezorgdheid over het verschuiven van de klimaatzones is regelmatig in het nieuws. De verspreiding van organismen op aarde in biogeografische zones, zoals de Atlantische zone, de Alpiene zone en het Middellandse Zeegebied, zal dan veranderen. Ook kan er grond verdwijnen uit bewoonde gebieden. Landbouwgrond kan onbruikbaar worden door verdrinking (overstroming) en het binnendringen van zout water door de zeespiegelstijging kan verzilting tot gevolg hebben. Verdroging treedt op wanneer de neerslag in een gebied afneemt of wanneer de verdamping door de temperatuurstijging toeneemt.

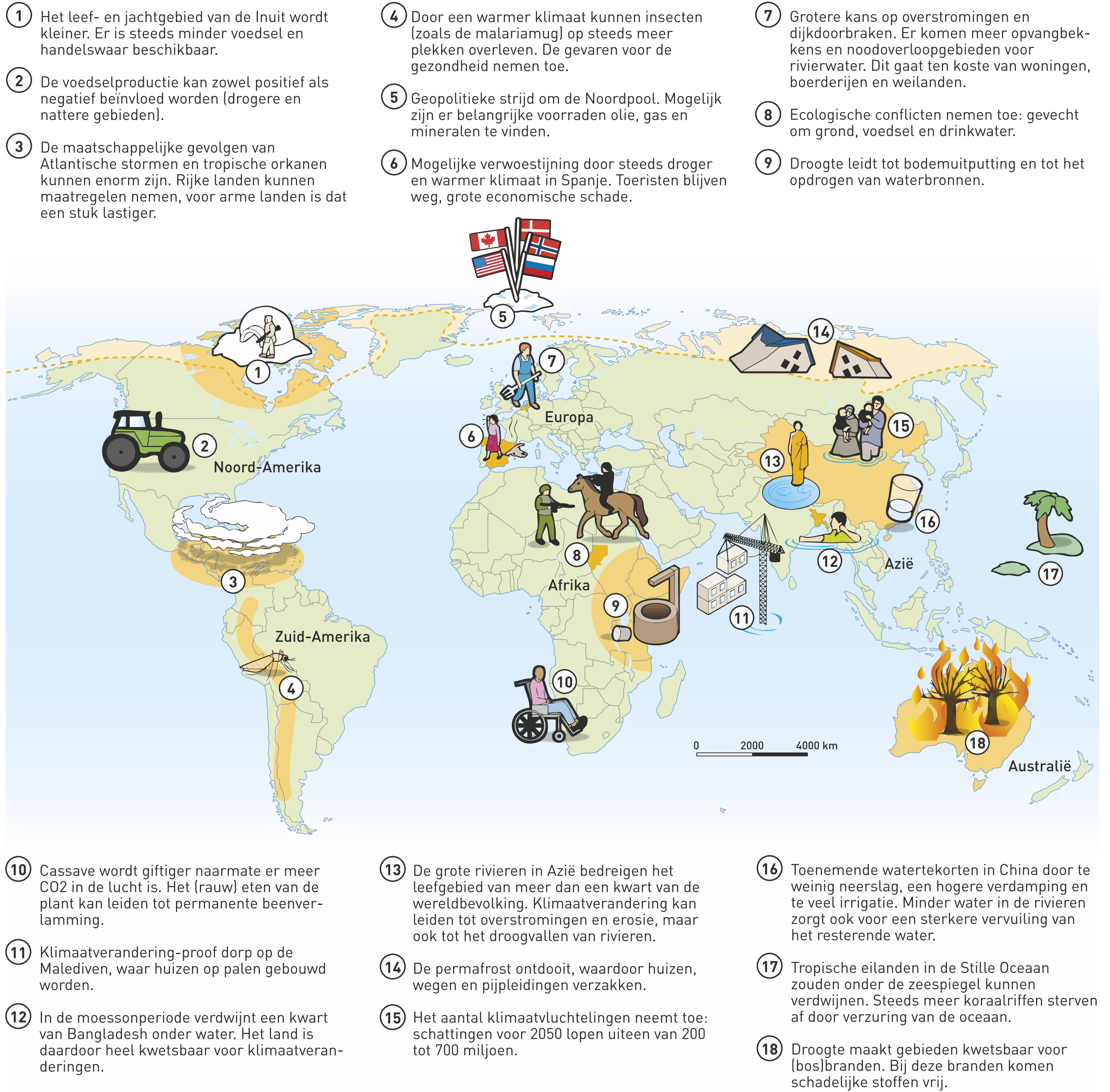
> biogeografische zones

▶ De kwetsbaarheid van gebieden hangt af van natuurlijke factoren zoals de bodem, de waterhuishouding en de kenmerken van de natuurlijke omgeving. Bovendien wordt de samenleving op verschillende terreinen geconfronteerd met de gevolgen van klimaatverandering, bijvoorbeeld op het gebied van voedselproductie, gezondheid, transport, energie en toerisme. Deze zijn op allerlei schaalniveaus merkbaar en worden zichtbaar wanneer je ze bekijkt vanuit verschillende dimensies.

● Voor de economische ontwikkeling van gebieden betekent het in sommige landen een aanpassing aan de veranderde natuurlijke omstandigheden. Hierbij kun je denken aan landen die te maken krijgen met extreme droogte of een grotere neerslagvariabiliteit. Wanneer er in een korte tijd meer neerslag valt in de vorm van stortbuien, heeft dit gevolgen voor het debiet van rivieren. Het risico op overstromingen in de winter neemt dan toe. Deze overstromingen kunnen leiden tot het

> verdrinking
> verzilting
> verdroging
> neerslagvariabiliteit






**Figuur 3.20** De belangrijkste gevolgen van de klimaatverandering.

wegspoelen van de vruchtbare bodem. Bij extreme droogte kan er bodemdegradatie optreden en ten slotte verwoestijning. Zowel door extreme droogte als door een hogere neerslagintensiteit is minder goede landbouwgrond beschikbaar. Behalve voor de voedselvoorziening in de landen zelf kan dit ook nadelige gevolgen hebben voor de export van voedselgewassen.

● De (geo)politieke machtsverhoudingen kunnen ook veranderen. In het klimaatdebat speelt regelmatig de vraag wie nu eigenlijk de verantwoordelijkheid moet nemen voor de vervuiling. De minder ontwikkelde landen wijzen naar de ontwikkelde landen, die niet alleen gebruikmaken van de milieugebruiksruimte in arme landen, maar die ook nog steeds verantwoordelijk zijn voor de hoogste $CO_2$-uitstoot. De rijke landen steunen op hun beurt de economische ontwikkeling in

arme landen, maar de gevolgen voor het milieu, die onvermijdelijk zijn, moeten wel passen in de mondiaal gemaakte afspraken van het Kyotoprotocol.

- Op lokale en regionale schaal heeft klimaatverandering impact op het leefgebied van de inheemse bevolking. In paragraaf 3.2 heb je kunnen lezen wat de gevolgen zijn voor een arm land als Bangladesh. Maar ook in landen waar nog relatief veel tropisch regenwoud is, zoals in Indonesië en Maleisië, kan de grote vraag naar hout negatieve gevolgen hebben voor de lokale bevolking. In Indonesië gaat veel landbouwgrond verloren ten behoeve van bijvoorbeeld de investering in oliepalmplantages en ten koste van het leefgebied van de dorpsbewoners.

▶ In figuur 3.20 zie je wat wereldwijd de belangrijkste gevolgen kunnen zijn van klimaatverandering. Je moet je hierbij wel afvragen of het in alle gevallen erg is dat het klimaat verandert. Het klimaatdebat richt zich vaak alleen op de negatieve gevolgen, temeer omdat hiermee zowel economische als politieke belangen gemoeid zijn.

- Op Europese schaal is de betere groeikans voor bossen en een hogere productiviteit een positieve bijkomstigheid. Een ander voordeel is dat er door een gunstiger klimaat in sommige gebieden kansen zijn voor toerisme. Voor ouderen kan een warmer klimaat ook prettiger zijn. Nederlandse zestigplussers hoeven dan bijvoorbeeld niet meer te overwinteren in Spanje. In Arctische gebieden, zoals Groenland, kunnen snellere vaarroutes komen door het ontbreken van ijs. En ook zijn gebieden die mogelijk rijk zijn aan delfstoffen, beter bereikbaar.
- De negatieve gevolgen hebben in het klimaatdebat echter de overhand. In het Middellandse Zeegebied zal het watertekort als gevolg van droogte, de toename van het waterverbruik in de toeristische industrie en het toepassen van irrigatie voor de landbouw toenemen. Steeds langere droge perioden verhogen ook de kans op bosbranden.
- Wat voor sommige gebieden als positief ervaren wordt, kan voor andere gebieden heel anders uitpakken. Voor het skitoerisme zijn hogere temperaturen juist nadelig. In de Alpen kan hierdoor de sneeuwgrens eind deze eeuw enkele honderden meters hoger liggen dan nu. Sommige gebieden krijgen volgens de voorspellingen meer neerslag te verwerken, waardoor de kans op overstromingen (vooral in de winter) aanzienlijk toeneemt. In de zomer daarentegen hebben de scheepvaart en de elektriciteitscentrales juist last van een te lage waterstand.

De elektriciteitscentrales kunnen maar in beperkte mate koelwater lozen, omdat een teveel aan warm water nadelige gevolgen heeft voor de flora en fauna in en bij de rivier. En zeewater dat warmer is dan 27 °C, kan zorgen voor de ontwikkeling van meer orkanen.
Kortom: het klimaatsysteem reageert op de vier elementen vuur, water, aarde en lucht. Om de schade die zij aan het klimaatsysteem toebrengen te beperken, is er (meer) overleg en samenwerking nodig om een effectief beleid te kunnen formuleren. Dat dit nog niet zo eenvoudig is, kun je lezen in figuur 3.21.

### Op het breukvlak van kennis en beleid

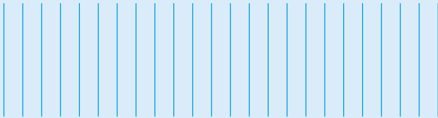
Klimaatdeskundigen werden onlangs in Den Haag aan de tand gevoeld. De tegenstrijdige meningen buitelden over elkaar heen.

Ze zien elkaar zelden, de Nederlandse wetenschappers, sceptici, wetenschapsjournalisten en beleidsmakers uit de wereld van het klimaat. Maar gisteren waren ze er allemaal, bij de hoorzitting van de Tweede Kamercommissie van het ministerie van VROM over enkele recente fouten in internationale klimaatrapporten. Een dag lang ondervroegen de commissieleden alle betrokkenen. Ze luisterden naar Arthur Rörsch (ex-TNO), die denkt dat het allemaal de schuld is van waterdamp en wolken. Naar Rob van Dorland (KNMI), die zei dat de invloed van de zon zeer bescheiden is. Naar Bas van Geel (UvA), die ongeveer het tegenovergestelde beweerde. Naar Henk Tennekes (ex-KNMI), die zich afvroeg waar de warmte blijft, terwijl de oceanen de laatste decennia nauwelijks opwarmen. Naar Salomon Kroonenberg (TU Delft), die uitlegde dat de gletsjers weliswaar kleiner worden, maar nog steeds niet zo klein als ten tijde van de Romeinen. Naar Klaas van Egmond (Universiteit Utrecht), die vond dat de broeikastheorie de beste verklaring biedt voor het opwarmen van de aarde. (...) Als er één ding duidelijk werd, is het wel dat er binnen de klimaatwetenschap nog steeds heel veel onduidelijk is ...

Figuur 3.21

> Kyotoprotocol





## Begrippen hoofdstuk 3

**Backcasting** 54
Het formuleren van een toekomstverwachting die moet leiden tot het trekken van conclusies voor het heden.

**Biodiversiteit** 53
Soortenrijkdom, de variatie aan leven in alle mogelijke soorten en vormen: dieren, planten en micro-organismen.

**Biogeografische zones** 58
Gebieden waarin de verspreiding van de organismen over de aarde zijn ingedeeld. Grote, samenhangende ecosystemen. Gelet wordt op de mogelijkheden voor natuurherstel en natuurontwikkeling. Voorbeelden zijn de Atlantische zone, de Alpiene zone en het Middellandse Zeegebied.

**Broeikasgas** 50
Gassen die de warmtestraling van de aarde absorberen, zoals kooldioxide ($CO_2$), water ($H_2O$), lachgas ($N_2O$) en methaan ($CH_4$).

**Dijkaanleg** 55
Het bouwen van een waterkering als beschermingsmaatregel tegen overstromingen.

**Dijkverzwaring** 55
Versteviging van bestaande dijken om het risico van een overstroming te beperken.

**Externe variabelen** 49
Factoren van buiten het systeem die met wisselende sterkte actief zijn, zoals vulkaanuitbarstingen.

**Forecasting** 54
Het voorspellen van toekomstige ontwikkelingen op grond van historische trends.

**Interne variabelen** 49
Factoren van binnen het systeem die met wisselende sterkte actief zijn, zoals El Niño.

**IPCC** 53
Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is een samenwerkingsverband van honderden deskundigen uit vele landen die hun kennis hebben gebundeld om klimaatverandering in kaart te brengen.

**Kustverdediging** 55
Maatregelen om overstroming door zee tegen te gaan, zoals dijkaanleg.

**Kyotoprotocol** 58
Verdrag dat is genoemd naar de Japanse stad Kyoto waar op de VN-klimaatconferentie van 1997 afspraken gemaakt zijn over een gezamenlijke aanpak van het klimaatprobleem.

**Neerslagvariabiliteit** 58
Verschil in neerslaghoeveelheid door de tijd heen (temporeel) of binnen een gebied (ruimtelijk).

**Ontruiming** 56
Het (gedwongen) verlaten van een gebied bij dreigend gevaar.

**Verdrinking** 58
Situatie waarin de zee wint op het land (transgressie).

**Verdroging** 58
Situatie waarin de natuur lijdt onder de afname van beschikbaar water.

**Verzilting** 58
Proces waarbij zich in de bodem steeds meer zouten ophopen.



# 4 Klimaatbeleid in de praktijk SE

## Denemarken Duurzaam energiebeleid

Denemarken heeft een vooruitstrevend milieubeleid. Zo'n twintig procent van de energievoorziening in Denemarken wordt opgewekt door windkracht. Ter vergelijking: In Nederland is slechts een paar procent van het energieverbruik afkomstig van windenergie. Het Deense eiland Samsø, gelegen in het Kattegat, gaat nog een stapje verder. Op regionale schaal laat het eiland zien wat er allemaal mogelijk is om een duurzaam energiebeleid te voeren. Samsø, dat een oppervlakte van ruim 100 vierkante kilometer heeft en ongeveer 4.700 inwoners telt, draait volledig op duurzame energie. Rondom het eiland staan wind-turbines, de huizen van de eilandbewoners hebben vrijwel allemaal zonnepanelen, er wordt gebruikgemaakt van geothermische energie en er wordt biomassa gestookt. Bovendien rijden er elektrische auto's en tractoren en wordt er koolzaad geteeld waarmee olie gewonnen wordt voor bio-ethanol als brandstof.
Tijdens de klimaattop in Kopenhagen in 2009 hebben veel deelnemers aan deze klimaatconferentie een kijkje genomen op dit milieubewuste eiland.



## 4.1 Beperking van schadelijke broeikasgassen

### $CO_2$, een natuurlijk gas

$CO_2$ is een natuurlijk gas dat overal op aarde voorkomt. In de lucht die wij uitademen zit $CO_2$, ofwel koolzuurgas, dat van nature ook in mineraalwater voorkomt. $CO_2$ bestaat uit koolstofdioxide en bomen hebben bijvoorbeeld $CO_2$ nodig om te groeien. Bomen langs de snelweg groeien zelfs vaak sneller door de koolstofdioxide die afkomstig is van uitlaatgassen en ook in de tuinbouw wordt soms extra $CO_2$ toegediend voor de plantengroei. Dit alles neemt niet weg dat een teveel aan $CO_2$ schadelijk is. Wanneer dit broei-kasgas in te grote hoeveelheden in de atmosfeer komt, vormt zich als het ware een deken om de aarde die verstikkend kan werken.

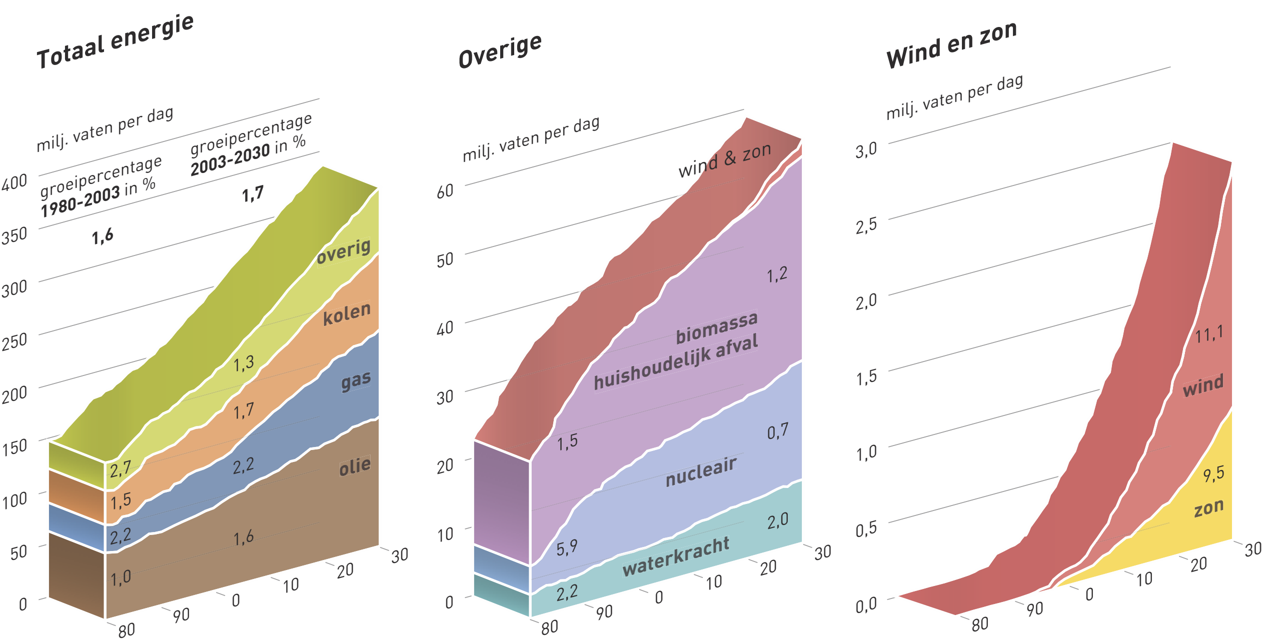
### Energievoorziening

▶ De energie die wereldwijd gebruikt wordt, wordt nog altijd voornamelijk gewonnen uit fossiele brandstoffen (figuur 4.1). Aardgas en aardolie zijn als grondstof nodig voor bijvoorbeeld benzine of autogas. Ook de elektriciteit die geleverd wordt door energiecentrales wordt nog steeds grotendeels opgewekt op basis van aardolie, aardgas en steenkool. Het gebruik van fossiele brandstoffen zorgt voor een verhoogde $CO_2$-uitstoot, waardoor het versterkte broeikaseffect ontstaat. De negatieve gevolgen hiervan zijn schadelijk voor mens en milieu.

● In het eerste diagram van figuur 4.1 is goed te zien dat de wereld voor zijn energievoorziening zeker de komende twintig jaar grotendeels van fossiele brandstoffen afhankelijk blijft. Olie blijft de belangrijkste energiedrager, maar de productie van gas en steenkool groeit ook flink. Het tweede diagram is een detaillering van het groene vlak in het eerste diagram (overige energiedragers). De groei van kernenergie stagneert enigszins doordat het lange tijd maatschappelijk omstreden is geweest. Daar lijkt nu een kentering in te komen, waardoor de groeicijfers vanaf 2010 mogelijk afwijken van wat de figuur laat zien.

● Hoewel de vervuiling door fossiele brandstoffen een belangrijke rol speelt in het klimaatdebat, is het niet de enige reden om te investeren in alternatieve energiebronnen. Fossiele brandstoffen zijn niet-vernieuwbare hulpbronnen. In het verleden heeft de zon ervoor gezorgd dat zich verschillende fossiele brandstoffen hebben kunnen vormen. Dit is een proces geweest van enkele honderden miljoenen jaren. De mens verbruikt deze energievoorraad echter in een tempo van enkele honderden jaren.

■ Van aardolie en aardgas is de voorraad naar schatting over 50 tot 100 jaar op. Dit hangt onder meer af van het tempo van het energieverbruik en van nog niet ontdekte aardgas- en aardolie-velden. Ook zijn er velden die nu moeilijk bereikbaar zijn, zoals op Groenland, waar de winning van aardolie door de ijs-bedekking wordt belemmerd. Van steenkool is niet de voorraad het grootste probleem, maar vooral de vervuiling die ontstaat bij de winning van deze fossiele brandstof en de verhoogde $CO_2$-uitstoot die vrijkomt bij de verbranding ervan.




Figuur 4.1 Energiewinning.

● Niet alleen zijn dus de winbare voorraden eindig, maar ook speelt de verdeling van de fossiele brandstoffen over de wereld een rol. Met name het Midden-Oosten en Rusland zijn rijk aan aardolie en aardgas. Dit kan zorgen voor politieke spanningen tussen landen met een overschot en landen die afhankelijk zijn van de import van deze grondstof.

## Emissiehandel

▶ De maatregelen die genomen worden om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen, kunnen onderverdeeld worden in brongerichte maatregelen en maatregelen waarbij alleen de effecten van milieuvervuiling bestreden worden. In het laatste geval wordt er niet gekeken naar de onderliggende oorzaak van de vervuiling. Er is dan sprake van symptoom-bestrijding.

▶ Zoals je in figuur 4.2 ziet, verschilt de uitstoot van schadelijke broeikasgassen in omvang en is deze niet in gelijke mate schadelijk voor het milieu. De emissie wordt teruggerekend naar de uitstoot van $CO_2$, zodat de reductie van de verschillende gassen makkelijker met elkaar vergeleken en verrekend kan worden. Hoewel landbouw en afval belangrijke bronnen zijn voor de uitstoot van de schadelijkste broeikasgassen methaan ($CH_4$) en lachgas ($NO_2$), wordt er in het algemeen vooral gekeken naar de beperking van de verhoogde $CO_2$-uitstoot. Dit komt omdat het hierbij gaat om 85% van de totale schadelijke uitstoot.

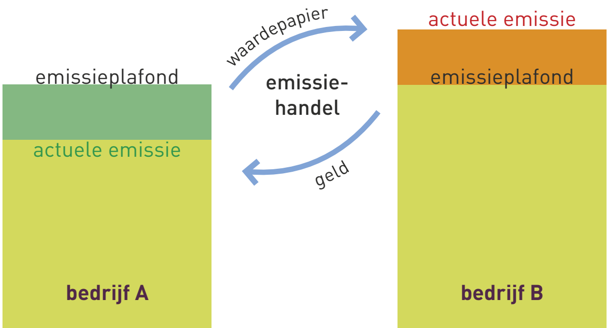
● Voor veel bedrijven is vastgesteld hoeveel $CO_2$ ze mogen uitstoten. Een aantal bedrijven haalt de toegestane norm niet en moet dus maatregelen nemen, bijvoorbeeld het bijkopen van emissierecht van bedrijven die onder de toegestane norm blijven. Dit wordt handel in emissierechten genoemd (figuur 4.3). Deze handel in emissierechten wordt bepaald door het principe van vraag en aanbod. Er wordt hierbij vooral gekeken naar de uitstoot van kooldioxide ($CO_2$), methaan ($CH_4$) en lachgas ($NO_2$). Het probleem van de vervuiling wordt bij emissiehandel niet daadwerkelijk aangepakt. In zekere zin is het een vorm van symptoombestrijding.

| Broeikasgas | Uitstoot (in %) | $CO_2$-equivalent | Belangrijkste bronnen |
|---|---|---|---|
| Kooldioxide ($CO_2$) | 85 | 1 | industrie/auto's |
| Methaan ($CH_4$) | 6 | 21 | landbouw/afval |
| Lachgas ($N_2O$) | 8 | 310 | landbouw |

Figuur 4.2 Verschillen in schadelijkheid van de belangrijkste broeikasgassen.

> brongerichte maatregelen

> symptoombestrijding
> handel in emissierechten




Figuur 4.3 Emissiehandel.

● Ieder bedrijf heeft een zogeheten emissieplafond. Dat bepaalt hoeveel uitstoot een bedrijf mag hebben volgens de toegestane norm. Bij overschrijding van deze norm volgt vaak een forse boete. Vooral energiebedrijven en grote industriële complexen (chemie, ijzer en staal, raffinage, papier) halen de door de overheid vastgestelde emissiereductie (= vermindering) vaak niet. Zij kunnen dus baat hebben bij emissiehandel.

● In sommige gevallen stoot een bedrijf meer of minder uit dan aanvankelijk werd gedacht. In het eerste geval kan een bedrijf ervoor kiezen meer emissierechten te kopen op de markt, of te investeren in technische maatregelen die zorgen voor een reductie van de uitstoot. In het tweede geval kan een bedrijf zijn overschot aan emissierechten op de markt aanbieden.

## Transportbesparing

▶ Behalve de industrie neemt ook de transportsector een belangrijk deel voor zijn rekening bij het veroorzaken van het versterkte broeikaseffect. Aan de ene kant zorgt het goederen-transport voor een bijdrage aan de economie, aan de andere kant is dit goederenvervoer in toenemende mate een belasting voor het milieu. Een manier om deze milieubelasting te beperken, is transportbesparing. Met kleine, doelgerichte maatregelen kan er voor efficiënter transport gezorgd worden zonder nadelige gevolgen voor de economie.

● Ten eerste is het belangrijk om de afstanden tussen leveranciers en afnemers klein te houden. Wanneer de bewerking van producten dicht bij de productlocatie plaatsvindt, zal er minder vervoer nodig zijn om tot een eindproduct te komen. Dat zie je bijvoorbeeld in Scandinavië, waar de houtindustrie voornamelijk in bosgebied gevestigd is. Een voordeel van deze regionale specialisatie is het creëren van werkgelegenheid in de regio. Een nadeel echter is dat niet elk product zich leent voor deze vorm van transportbesparing. Ook kunnen producten bij uitsluitend productie in de eigen regio niet altijd voor de laagste prijs aangeboden worden.

■ Biologische producten en streekproducten zijn bij een steeds grotere groep consumenten in trek. Er wordt niet meer alleen gekeken naar de prijs, maar juist de herkomst van het product en een verantwoorde productie zijn doorslaggevend. Een bijkomend voordeel is dat deze streekproducten vaak relatief dicht bij de markt verbouwd worden, waardoor ze minder ver getransporteerd hoeven te worden.

● Vermindering van volume en gewicht van de te vervoeren goederen is een tweede manier die kan bijdragen tot efficiënter transport. Door alles compacter te verpakken, kan er meer in één keer vervoerd worden. Dit geldt bijvoorbeeld voor vruchtensappen die als extract vervoerd worden, dus zonder water. Soms is er zelfs helemaal geen wegtransport meer nodig, bijvoorbeeld bij digitale communicatie en de digitalisering van kranten en boeken.

● Ten slotte kan er winst behaald worden door optimaler gebruik te maken van retourstromen. Transporteurs kunnen de (gedeeltelijk) lege laadruimten van vrachtauto's beter benutten door bijvoorbeeld verpakkingsmateriaal mee terug te nemen. Wanneer dit materiaal hergebruikt wordt, draagt dit ook bij tot de vermindering van afvalstromen. Goede communicatie en samenwerking tussen leveranciers en bedrijven zijn in dit geval een belangrijke voorwaarde voor het slagen van transportbesparing.

> transportbesparing




# 4.2 Duurzame energie

## World Solar Challenge

The World Solar Challenge is een race van 3.021 km dwars over het Australische continent. De route start in de noordelijke stad Darwin en gaat via Alice Springs naar de finish in Adelaide dat in het zuiden van Australië ligt. De auto's die voor deze wedstrijd gebruikt worden, rijden uitsluitend op zonne-energie. Aan het jaarlijks terugkerende evenement nemen ongeveer veertig teams uit de hele wereld deel. Nederland heeft de race al verschillende keren gewonnen.

## Duurzame energiebronnen

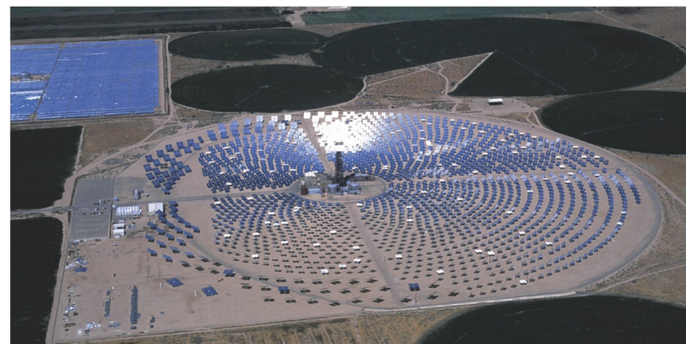
▶ Behalve de maatregelen die getroffen worden om de vervuiling door voornamelijk fossiele brandstoffen aan te pakken, wordt er ook steeds meer gekozen voor de toepassing van duurzame energie. Dit is een voorbeeld van een structurele maatregel met een brongerichte aanpak, omdat de oorzaak van de schadelijke $CO_2$-uitstoot wordt aangepakt. Er wordt gestreefd naar een verbetering van het milieu op lange termijn. Bij duurzame energie gaat het om energiebronnen die door de natuur zelf in relatief korte tijd continu opnieuw aangemaakt kunnen worden. Er zijn drie soorten duurzame energiebronnen:

> duurzame energie

- bronnen die warmte afgeven (bijvoorbeeld zonne-energie en aardwarmte);
- bronnen die gebruikt worden om elektriciteit op te wekken (bijvoorbeeld windenergie en waterkracht);
- bronnen waarbij door verbranding of vergisting energie vrijkomt: bio-energie.

## Zonne-energie en aardwarmte

▶ De zon is een belangrijke energieleverancier op aarde. Toch wordt zonne-energie veel minder toegepast dan je zou denken.
● Dit komt doordat de winning van zonne-energie een kostbare aangelegenheid is. Er zijn zonnepanelen en spiegels nodig om het zonlicht op te vangen, zodat de warmte omgezet kan worden in energie. De fabricage van deze zonnecollectoren brengt hoge kosten met zich mee, zodat de investering voor veel bedrijven en huishoudens te duur wordt.

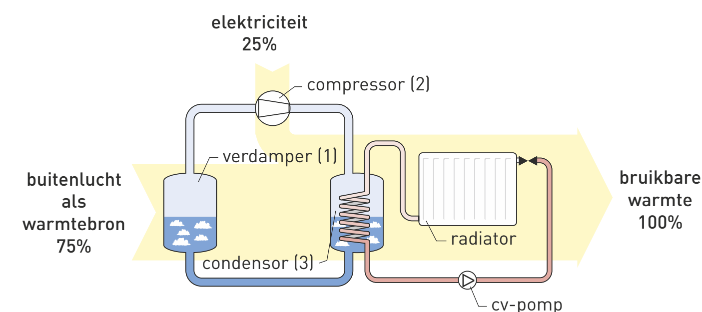


Figuur 4.4 Energiewinning via zonnespiegels.



● Behalve de hoge kosten is winning ook niet in ieder gebied even effectief. Dit heeft te maken met het aantal zonne-uren dat een land gemiddeld heeft. Landen in het Middellandse Zeegebied halen natuurlijk een veel hoger rendement dan landen in Noord-Europa.

▶ Aardwarmte of geothermische energie is energie die ontrokken wordt aan de aardkorst. De wereldvoorraad van deze energiebron is enorm: de buitenste schil van de aardkorst bevat thermische energie die overeenkomt met 50.000 keer de energie van alle olie- en gasvoorraden. Het meest bekend zijn vulkanen en geisers, waar warmtebronnen aan de oppervlakte liggen.
● Maar ook op veel grotere schaal kan gebruikgemaakt worden van omgevingswarmte. Hierbij kun je denken aan onder meer lucht, water en bodem. Deze warmtebronnen hebben een relatief laag temperatuurniveau, maar kunnen naar een hoger temperatuurniveau gebracht worden door bijvoorbeeld gebruik te maken van warmtepompen.
■ Warmtepompen worden steeds vaker toegepast in nieuwbouwwoningen (stadsverwarming) of bijvoorbeeld in de tuinbouw voor de verwarming van kassen.
Er zijn veel verschillende soorten warmtepompen, maar de werking komt altijd op hetzelfde neer: een vloeistof met een kookpunt dat lager is dan de omgevingstemperatuur, dient als transportmiddel van de warmte. Onder invloed van de buitenlucht verdampt deze vloeistof. De vloeistof onttrekt dus warmte aan de buitenlucht. De buitenlucht daalt in temperatuur en de vloeistof verdampt. De verdampte vloeistof wordt vervolgens samengedrukt door een compressor. Hierdoor stijgen de druk en de temperatuur van de damp. Als laatste stap wordt de warmte aan de damp onttrokken door bijvoorbeeld een cv-installatie. Het cv-water stijgt in temperatuur, de damp daalt in temperatuur, zelfs zo ver dat de damp weer condenseert tot vloeistof. Dat laatste gebeurt in het condensorvat. De vloeistof stroomt weer naar de verdamper waar het proces weer van voor af aan begint.




Figuur 4.5 Warmtepomp.

## Windenergie en waterkracht

▶ Windenergie is vooral goed te gebruiken in combinatie met andere (duurzame) energiebronnen. Aangezien windkracht geen constante factor is, loont het alleen windturbines neer te zetten in gebieden waar het regelmatig flink waait.



Figuur 4.6 Windenergie.

● Net als bij zonne-energie is het opwekken van elektriciteit op basis van windenergie vrij kostbaar. Windturbines hebben hoge ontwikkel- en plaatsingskosten, die kunnen oplopen tot drie keer de prijs van stroom. Wat kosten en rendement betreft, is voor zowel zonne- als windenergie niet meer dan een bijrol weggelegd als energieleveranciers voor de (nabije) toekomst (figuur 4.1 tweede diagram).
■ Nederland is als land zeer geschikt voor de plaatsing van windturbines. De ligging aan de kust zorgt vaak voor westelijke winden die behoren bij depressies boven de Atlantische Oceaan en de Noordzee. Het vlakke en open landschap heeft als voordeel dat de wind makkelijk in kracht toe kan nemen.

▶ Ook waterkracht kan gebruikt worden om energie op te wekken. Het bekendste voorbeeld is het opwekken van energie door gebruik te maken van de hoogteverschillen van water. Dit gebeurt meestal bij (hoge) watervallen of op plaatsen waar voor deze doeleinden een stuwdam is gebouwd. Een andere mogelijkheid om elektriciteit op te wekken, is door gebruik te maken van de beweging van golven (golfslagenergie) of – net als bij hydro-elektriciteit – door gebruik te maken van de verschillen in waterhoogte van de getijden (getijdenenergie).
■ Energiewinning waarbij gebruikgemaakt wordt van het verschil in zoutconcentratie in grensgebieden tussen zout en zoet water, wordt blauwe energie genoemd. In zout water zitten meer elektrisch geladen atomen dan in zoet water. Wanneer de

twee waterstromen zich met elkaar gaan mengen, kan er elektriciteit opgewekt worden. Bij dit proces wordt gebruikgemaakt van een membraam, waarmee vervolgens via elektrodialyse energie gewonnen kan worden. In Nederland is de Afsluitdijk een voorbeeld van een grensgebied tussen zout en zoet water.

## Bio-energie

▶ Bio-energie is de verzamelnaam voor energie uit energiedragers die rechtstreeks, dan wel via een chemische omweg, zijn gewonnen uit organisch materiaal (biomassa). Een voorbeeld van een toepassing van bio-energie is biobrandstof. Daarnaast zijn er verschillende andere toepassingen zoals:

- verbranding van hout,
- verbranding van huishoudelijk en bedrijfsafval,
- energiewinning op basis van mestoverschotten (biogas),
- vergisting van groente-, fruit- en tuinafval.



**Figuur 4.7** Voor de toepassing van bio-ethanol wordt gebruikgemaakt van de alcoholische vergisting van suikerriet.

● De winning van biobrandstoffen gebeurt op verschillende manieren. Er wordt bijvoorbeeld olie gewonnen uit voedselgewassen. Maïsolie, koolzaadolie, palmolie en sojaolie kunnen dienen als grondstof voor de ontwikkeling van biodiesel of bio-ethanol. Ook worden er planten en bomen gebruikt die niet geschikt zijn voor consumptie. Deze zogenoemde energiegewassen worden in sommige gevallen speciaal voor de toepassing van biobrandstoffen geteeld. Een voordeel van energiegewassen is dat ze niet concurreren met voedselgewassen die ook gebruikt worden voor consumptie.

■ Bio-ethanol is de meest gebruikte biobrandstof. Naar schatting zijn er in Nederland sinds 2010 ongeveer 25 tankstations die bio-ethanol leveren. Wereldwijd zijn de Verenigde Staten en Brazilië de grootste producenten. In Europa zijn Zweden en Frankrijk belangrijke leveranciers van bio-ethanol. Ook in Nederland is er sprake van een groeimarkt sinds in 2006 het eerste tankstation in Nederland geopend werd waar puur plantaardige olie getankt kon worden.

▶ Het gebruik van energie die gewonnen wordt uit organisch materiaal kan andere milieuproblemen oproepen. Duurzame energiewinning is dus niet per definitie overal en altijd milieuvriendelijk.

● Verbranding van hout is een toepassing van duurzame energie wanneer voldoende rekening wordt gehouden met de aanplant van nieuwe bomen. Ook moeten de schadelijke stoffen die bij het verbrandingsproces van hout (800 tot 1.000 °C.) vrijkomen, beperkt blijven. Hiervoor worden filters gebruikt waardoor er minder schadelijke broeikasgassen in de atmosfeer terechtkomen.

● Een ander voorbeeld waarbij je vraagtekens kunt zetten bij de duurzaamheid, zijn de oliepalmplantages in Zuidoost-Azië. Deze plantages worden in toenemende mate gebruikt voor de grote vraag naar biobrandstoffen. Het gebruik van palmolie als biobrandstof heeft echter een aantal nadelen. Om aan de vraag naar palmolie te kunnen voldoen, worden er – vooral in Indonesië en Maleisië – grote delen van het tropisch regenwoud gekapt. Door deze houtkap ontstaat er onherstelbare milieuschade. Daarnaast gaat de ontbossing ten koste van de lokale bevolking (figuur 4.8).

■ Ook in Zuid-Amerika leidt de grote vraag naar biobrandstoffen tot dergelijke milieuproblemen. Wanneer de vraag naar biobrandstoffen op basis van sojaolie toeneemt, zal het soja-areaal zich verder uitbreiden ten koste van regenwoud en savannen.



### Palmolie

Net als de bossen in het Amazonegebied en in het Congobekken loopt ook het tropisch oerwoud in Zuidoost-Azië het gevaar van ontbossing. De verwoesting van het bos voor economische belangen op korte termijn bedreigt niet alleen de biodiversiteit aan planten- en diersoorten, maar ook de leefomgeving van de inheemse bevolking en het klimaatevenwicht op aarde. De belangrijkste oorzaak van die ontbossing in Indonesië en Maleisië is de omzetting van bosgebieden in palmolieplantages. De voorbije jaren is palmolie de nummer één geworden onder de plantaardige oliesoorten, omdat palmolie het goedkoopst is. Je vindt palmolie zowel in shampoo als in wasproducten, margarine, chips, pizza, maar ook in biobrandstoffen. Palmolie is bijna onontbeerlijk geworden in heel wat producten die we dagelijks consumeren. Unilever, Nestlé en Procter & Gamble – de grootste producenten van voedingsmiddelen, cosmetica en biobrandstoffen – gebruiken palmolie. Zo werken zij mee aan de massale verwoesting van bos- en veengebieden in Zuidoost-Azië voor de ontwikkeling van palmolieplantages. Door die ontbossing is Indonesië het land met de derde grootste uitstoot van broeikasgassen ter wereld. Bovendien vormt de ontbossing ook een bedreiging voor heel wat ecosystemen. Als de natuurlijke habitat van soorten wordt vernietigd, komt hun overleven immers in het gedrang. Bovendien geven de plantages vaak aanleiding tot sociale conflicten. Het gebeurt namelijk dat palmbomen worden aangeplant op gronden van de plaatselijke bevolking zonder dat die daarvoor haar toestemming gaf. (...)

**Figuur 4.8**



**Figuur 4.9** Kernenergie.

## Andere initiatieven

▶ Behalve de vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen en de toepassing van duurzame energie, zijn er nog meer initiatieven die ten doel hebben de schadelijke uitstoot van broeikasgassen te beperken, bijvoorbeeld:
- kernenergie,
- met een elektromotor aangedreven auto's,
- $CO_2$-opslag.

● Met het opraken van fossiele brandstoffen is er een (nieuwe) markt weggelegd voor de winning van kernenergie. Bij de winning komt geen schadelijke $CO_2$ vrij. Wel blijft er na de splitsing van atoomdeeltjes radioactief restafval over. Wanneer dit kernafval op een verantwoorde manier wordt opgeslagen, is er geen directe schade voor het milieu (figuur 4.9).

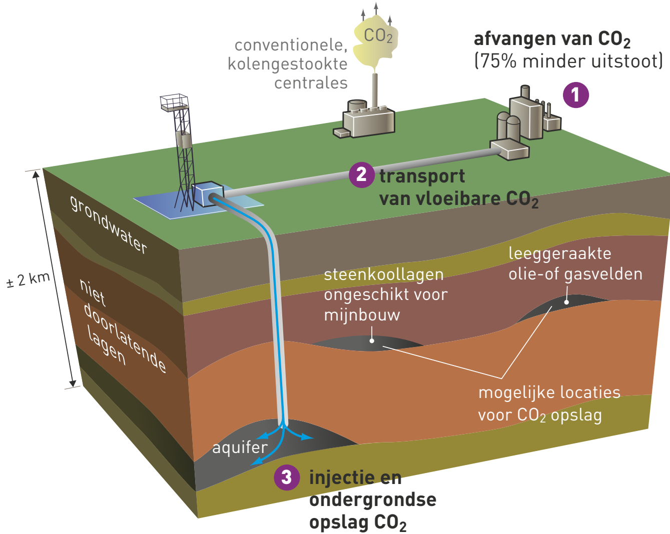
● De auto is één van de grootste vervuilers als het gaat om $CO_2$-uitstoot. Het is dan ook niet vreemd dat er de laatste jaren veel onderzoek gedaan is naar andere vormen van autorijden. De elektrische auto is daar een voorbeeld van (figuur 4.10).

● In Barendrecht, onder de rook van Rotterdam, wil men $CO^2$ opslaan onder de Vinex-wijk Carnisselande. Filters bij de olieraffinaderijen in Pernis vangen de schadelijke $CO^2$-uitstoot af, waarna het via pijpleidingen naar Barendrecht getransporteerd wordt. Ten slotte wordt de $CO_2$ in leeg geraakte aardgasvelden in de grond geïnjecteerd. In Barendrecht is het project omstreden, omdat er te weinig bekend is over de mogelijke risico's van een eventueel lek in een pompinstallatie of pijpleiding (figuur 4.11).

### Voordelen elektrische auto

Investeren in een elektrisch aangedreven auto heeft de volgende voordelen:
1. besparing op brandstofverbruik (dit kan oplopen tot minimaal 1.200 euro per jaar);
2. geen schadelijke $CO_2$-uitstoot en geen fijn stof;
3. geen belasting voor personenauto's (BPM) en ook geen wegenbelasting;
4. lage onderhoudskosten (besparingen worden geschat op tussen de 400 en 700 euro per jaar);
5. voor leaseauto's wordt tot eind 2014 geen bijtelling gerekend, na 2014 wordt dit 7%;
6. thuis tanken;
7. goedkoop tanken;
8. milieu-investeringsaftrek voor ondernemers die een elektrische auto aanschaffen;
9. stil in gebruik;
10. automatisch schakelen.

Figuur 4.10




Figuur 4.11 $CO_2$-opslag






# 4.3 Beleid en belangen: kansen en knelpunten

### Klimaatdebat

Tegenwoordig lijkt iedereen wel een mening te hebben over het klimaat. In de media wordt veel aandacht besteed aan het klimaatvraagstuk en ook de overheid probeert de burger meer bewust te maken van de gevolgen van klimaatverandering. Er worden verschillende maatregelen genomen, er zijn klimaatconferenties en eens in de zoveel tijd is er een klimaattop. De belangen tijdens zo'n ontmoeting lopen nogal uiteen en dat maakt een eenduidig plan van aanpak niet echt makkelijk.

## Aanpak klimaatvraagstuk

▶ Beleidsmakers hebben niet altijd dezelfde belangen. Dit bemoeilijkt de aanpak van het klimaatvraagstuk en de uitvoering van het klimaatbeleid in de verschillende landen. De schadelijke $CO_2$-uitstoot komt vooral uit de geïndustrialiseerde landen, terwijl hier maar een kwart van de totale wereldbevolking woont. Minder ontwikkelde landen pleiten dan ook voor een sterke afname van de westerse milieuvervuiling, te meer omdat deze landen ook de mogelijkheid willen krijgen zich te industrialiseren zonder het probleem te verergeren.

● Een samenleving die technisch en economisch meer ontwikkeld is, zal beter in staat zijn om efficiënte maatregelen te nemen tegen de gevolgen van de uitstoot van schadelijke broeikasgassen dan minder ontwikkelde landen. Rijke landen hebben meestal voldoende onderzoeksmogelijkheden om een goede risicoanalyse te maken van de gevolgen van klimaatverandering. Het beleid dat gemaakt wordt, is gericht op het nemen van technische maatregelen. Arme landen hebben deze mogelijkheid niet of nauwelijks. Deze landen zijn gebaat bij een snelle economische ontwikkeling om economisch gezien op de wereldkaart gezet te worden. Zij zullen dan ook in eerste instantie investeren ten koste van het milieu.

## Verdrag van Kyoto

▶ Eind jaren tachtig van de vorige eeuw begon men zich wereldwijd steeds meer zorgen te maken over het klimaat. Als er geen maatregelen genomen zouden worden, zou dit wel eens enorme gevolgen kunnen hebben voor mens en milieu. In 1992 werd daarom voor het eerst een klimaatconferentie gehouden waarbij 150 landen vertegenwoordigd waren.

● Op 15 februari 2005 trad het Verdrag van Kyoto in werking. Aan deze klimaatconferentie gingen zeven jaar van besprekingen en onderhandelingen vooraf. De gemaakte afspraken hebben het gemeenschappelijke doel de uitstoot van schadelijke broeikasgassen te verminderen. Deze afspraken gelden in principe voor alle sectoren die een versterking van het broeikaseffect veroorzaken. Een uitzondering hierop vormen het internationale luchtverkeer en de scheepvaart. Er is niet vastgelegd wie verantwoordelijk is voor de $CO_2$-emissies van

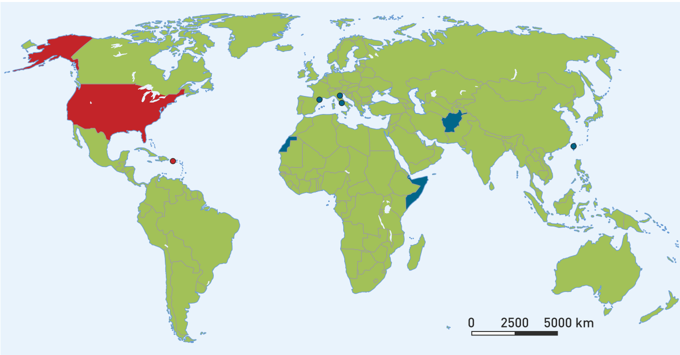
> klimaatconferentie

deze sector, omdat een deel van de uitstoot namelijk plaatsvindt buiten de eigen landsgrenzen.

■ Bij het klimaatbeleid na 2012, wanneer Kyoto afloopt, zal meer rekening gehouden moeten worden met de emissies van de internationale lucht- en scheepvaart. Deze snelgroeiende sector is namelijk een belangrijke veroorzaker van een verhoogde $CO_2$-uitstoot. Door emissies bijvoorbeeld toe te schrijven aan herkomst- of bestemmingslanden kan beter in kaart gebracht worden waar de uitstoot het grootst is en dus ook in welke landen de meeste emissiereductie moet plaatsvinden. Wanneer dit niet gebeurt, kunnen de internationale klimaatdoelen in gevaar komen.

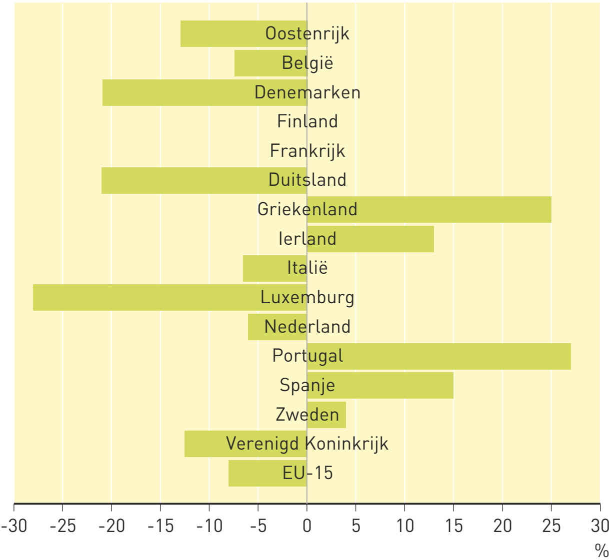
● In het Verdrag van Kyoto staat dat de uitstoot van $CO_2$ tussen 2008 en 2012 verminderd moet zijn met gemiddeld 5,2% ten opzichte van het niveau in 1990. Er wordt hier uitgegaan van de totale uitstoot, waarbij er voor afzonderlijke landen of groepen landen percentages vastgesteld zijn. Voor de Europese Unie (EU-15, lidstaten die voor 1 mei 2004 lid waren) geldt een gemiddelde reductie van 8% (figuur 4.13); voor Japan is het percentage vastgesteld op 6%.

● Voor ontwikkelingslanden is nog geen emissiereductie vastgesteld. Bij nieuwe afspraken zal dit wel noodzakelijk zijn als gekeken wordt naar de vervuiling die China, India en Brazilië veroorzaken. Deze landen worden (nog) gerekend tot de ontwikkelingslanden, terwijl ze een enorme economische groei doormaken. Voor de periode na 2012 is in de onderhandelingen op de klimaattop in Kopenhagen (2009) afgesproken dat ontwikkelingslanden een bijdrage moeten leveren aan de reductie van broeikasgassen die in verhouding staat tot hun financiële en technische mogelijkheden.




deelnemende landen
wel ondertekend, maar niet bekrachtigd
landen die tot dusver niet deelgenomen hebben aan het protocol

**Figuur 4.12** Het Verdrag van Kyoto (stand februari 2009).




**Figuur 4.13** Vastgestelde emissiereductie in EU-15 landen per lidstaat.

● Inmiddels onderschrijven bijna alle landen in de wereld het Verdrag van Kyoto (figuur 4.12). De Verenigde Staten hebben het verdrag wel ondertekend, maar zijn niet van plan dit te bekrachtigen. De Amerikaanse regering kiest liever voor alternatieve maatregelen die gericht zijn op schone technologie bij het gebruik van fossiele brandstoffen en de toepassing van kernenergie.

## Europees beleid

▶ De Europese landen hebben hun eigen geschiedenis ten aanzien van milieubeleid. Dat is ook terug te zien in het klimaatdebat en de beleidslijnen die in Europa zijn uitgezet. Overkoepelend beleid is verenigd in de afspraken van de Europese Unie, maar daarnaast hebben de afzonderlijke landen ook te maken met de nationale wetgeving.

● De EU-15 heeft als groep landen gezamenlijk het Verdrag van Kyoto ondertekend. Dit zijn de lidstaten die voor 1 mei 2004 lid waren. Voor de groep landen die na deze datum tot de EU zijn toegetreden, gelden de Kyoto-afspraken niet. Rijke landen als Nederland moeten meer investeren om de doelstellingen te behalen dan armere landen als Portugal (figuur 4.12). Worden de doelen niet gehaald, dan kan er een forse boete volgen.

● De nieuwe EU-lidstaten zijn voornamelijk Oost-Europese landen. Zij krijgen van de Europese Unie financiële hulp om ervoor te zorgen dat hun $CO_2$-uitstoot bij verdere economische ontwikkeling op een zo laag mogelijk niveau gehouden wordt. Zo zijn er bijvoorbeeld projecten die gericht zijn op energie-



efficiëntere productie of op herbebossing en wordt het gebruik van duurzame energiebronnen gestimuleerd.

■ De geboden hulp kent voor een deel een dubbel belang: landen die projecten in Oost-Europa financieren, mogen de vermindering in emissiereductie die daardoor behaald wordt, voor een deel verrekenen met een teveel aan uitstoot in eigen land. Dit leidt in sommige gevallen tot meer productie met als gevolg een hogere $CO_2$-uitstoot en juist meer milieuvervuiling.

▶ Hoewel de doelstellingen van het Europees klimaatbeleid voor de EU-15 landen gelijk zijn, zijn er verschillen tussen de landen onderling. Het is vaak moeilijk om op Europees niveau tot een afstemming te komen van de nationale wetgeving.

● De verschillen in regelgeving hebben te maken met de economische en politieke belangen van een land. Ook spelen sociale aspecten zoals tradities en maatschappelijke betrokkenheid een rol. Denk maar aan Scandinavië: Zweden loopt al jaren voorop als het gaat om de milieuwetgeving. Ook op het Deense eiland Samsø is er onder de eilandbewoners voldoende draagvlak aanwezig om volledig gebruik te maken van duurzame energie.

● Verschillen in beleid hoeven niet altijd nadelig te zijn. Het is juist verstandig wanneer landen zich specialiseren in dingen waar ze goed in zijn. Zo is bij de toepassing van zonne-energie meer winst te behalen in Zuid-Europa, terwijl een bosrijk gebied als Zweden zich meer kan richten op energiewinning uit hout (biomassa). Voor Nederland kan in de nabije toekomst een rol weggelegd zijn voor de opslag van $CO_2$. Nederland kan hiervoor een aantal lege aardgasvelden gebruiken in onder meer Drenthe of de Noordzee.

## Nederlands beleid

▶ Het Nederlands klimaatbeleid kent twee belangrijke pijlers: de bevordering van duurzaam energiegebruik en het afremmen van mobiliteit. Bij de ontwikkeling van het beleid zijn verschillende ministeries betrokken.

● Het ministerie van VROM is behalve als coördinator van het klimaatbeleid onder andere ook verantwoordelijk voor het bevorderen van energiebesparing in bijvoorbeeld woningen en kantoren. Energiebesparing in de gebouwensector loont, omdat meer dan tweederde van het energieverbruik in gebouwen opgaat aan verwarming en afkoeling. Daarnaast kan ook het

> duurzaam energiegebruik
> afremmen van mobiliteit




**Figuur 4.14** Tolheffing.

compacter bouwen in stedelijke gebieden een bijdrage leveren aan het zuiniger omgaan met energie.

● Het ministerie van Verkeer en Waterstaat houdt zich vooral bezig met het afremmen van de mobiliteit en het stimuleren van het openbaar vervoer. Eén van de maatregelen om de automobiliteit te verminderen, is het zogenoemde rekeningrijden, waarbij de automobilist op sommige trajecten moet betalen per gereden kilometer. Een aantal Europese steden kent dit systeem van tolheffing al, dat vooral toegepast wordt rondom grote steden en in dichtbevolkte gebieden.

● Het ministerie van Economische Zaken richt zich op de energie-efficiëntere productie en de toepassing van duurzame energie in de industrie. De energieproblematiek (het opraken van de voorraden en de milieuvervuiling) is nauw verbonden met de ontwikkelingen van de industrie en het klimaatbeleid. Door te investeren in onderzoek en technologie kan de overheid een bijdrage leveren aan schonere energie in de toekomst.

> tolheffing

▶ De auto is één van de grootste vervuilers als het gaat om $CO_2$-uitstoot. Aangezien de uitbreiding van het autopark de komende decennia wereldwijd niet zal afnemen, is het afremmen van mobiliteit een belangrijk middel om de luchtvervuiling zoveel mogelijk te beperken. Bovendien loont het om te investeren in schone technologie, zoals de ontwikkeling en toepassing van vervoermiddelen met een elektrische motor (figuur 4.15).

### Elektrische bussen in Den Bosch

DEN BOSCH – De gemeente Den Bosch geeft 'ruim baan aan elektrisch vervoer'. Door de historische binnenstad rijden straks drie elektrische bussen, en autodeelorganisatie Greenwheels stationeert vier elektrische wagens in de stad. De gemeente streeft ernaar om voor juli 2010 vijftig elektrisch aangedreven voertuigen binnen de gemeentegrenzen te hebben rijden. (...)
(..) Den Bosch heeft een intentieverklaring getekend met vijf partners (busbedrijf Arriva, Greenwheels, energiemaatschappij Essent, netwerkbeheerder Enexis en de provincie) over de inzet van elektrisch vervoer in de Brabantse hoofdstad. Volgens wethouder Eigeman is het voor het eerst dat een Nederlandse gemeente het elektrische vervoer zo breed en met zoveel partijen stimuleert. (...)

Figuur 4.15

- Transportbesparing is zonder meer rendabel voor bedrijven: minder vervoer betekent minder brandstofverbruik en minder chauffeurs. Met deze financiële besparing kunnen nieuwe investeringen worden gedaan. Maar hoe krijg je bedrijven nu zo ver dat ze daadwerkelijk overgaan op deze vorm van duurzame logistiek? De overheid probeert onder andere door het verstrekken van informatie en subsidies bedrijven geïnteresseerd te krijgen voor transportbesparing. Daarnaast is het tegenwoordig aantrekkelijk voor bedrijven om geassocieerd te worden met het milieu en het voeren van een duurzaam beleid.
- Voor het promoten van duurzame initiatieven en het creëren van draagvlak onder de bevolking is een rol weggelegd voor de politiek. De Nederlandse overheid probeert met campagnes meer aandacht te krijgen voor het beleid. Hierbij is het verstrekken van subsidies of een belastingvoordeel vaak een belangrijk middel om mensen over de streep te trekken om beter om te gaan met het milieu. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de toepassing van duurzame energie of de aanschaf van 'schone' en energiezuinige auto's.

Gemeenten hebben vaak een voorbeeldfunctie als het gaat om het bevorderen van duurzaam energieverbruik.



## Begrippen hoofdstuk 4

**Afremmen van mobiliteit** 73
Het terugdringen van verkeer over land, ter zee en in de lucht.

**Brongerichte maatregelen** 64
Maatregelen die genomen worden om een (milieu)probleem structureel aan te pakken. Dus met de bedoeling dat de uitstoot of de emissie minder worden.

**Duurzame energie** 66
Vernieuwbare energie waarover de mens voor onbeperkte tijd kan beschikken zonder dat de energievoorraad wordt uitgeput (bijvoorbeeld zonne- en windenergie).

**Duurzaam energiegebruik** 73
Het gebruik van vernieuwbare energiebronnen (duurzame energie).

**Handel in emissierechten** 64
Het kopen en verkopen van uitstootrechten van schadelijke broeikasgassen.

**Klimaatconferentie** 71
Bijeenkomst waar de gevolgen van klimaatverandering besproken worden en afspraken gemaakt worden over het terugdringen van de schadelijke effecten van klimaatverandering.

**Symptoombestrijding** 64
Maatregelen die gericht zijn op de bestrijding van de effecten van een (milieu)probleem. Hiermee worden dus alleen de gevolgen van de emissie bestreden.

**Tolheffing** 73
Het heffen van accijns op bepaalde infrastructurele voorzieningen waarbij de gebruiker direct betaalt om er gebruik van te mogen maken.

**Transportbesparing** 65
Het nemen van maatregelen voor efficiënter transport met als doel het verkeer te verminderen.

# Overzicht vaardigheden en werkwijzen

Bij aardrijkskunde (geografie) gaat het niet alleen om weten en begrijpen. Je oefent ook 'geografische vaardigheden en werkwijzen', door het maken van opdrachten in het werkboek. Hiermee kun je zelf een goed aardrijkskundig beeld van de wereld opbouwen. Je kunt die vaardigheden zien als een soort gereedschap. En de werkwijzen helpen je om dat gereedschap op de juiste manier te hanteren.
In dit overzicht krijg je eerst een toelichting op datgene waar het bij aardrijkskunde om gaat: het vormen van een geografisch beeld van (delen van) de wereld. Daarna komen de vaardigheden en werkwijzen aan bod. De opbouw van dit overzicht is als volgt:

1 Een geografisch beeld vormen
2 Aardrijkskundige vragen stellen
3 Geografische hulpmiddelen
4 Aardrijkskundige werkwijzen
5 Stappenplan geografisch onderzoek

## 1 Een geografisch beeld vormen

▶ Geografen zijn erg geïnteresseerd in gebieden. Ze letten speciaal op de overeenkomsten en de verschillen tussen gebieden. Deze ruimtelijke overeenkomsten en verschillen doen zich voor bij zowel menselijke als natuurlijke verschijnselen. Denk bij menselijke verschijnselen bijvoorbeeld aan de spreiding en groei van de bevolking, de economische ontwikkeling of aan culturen. Voorbeelden van natuurlijke verschijnselen zijn klimaten, vulkanisme of vegetatievormen.
● Menselijke en natuurlijke verschijnselen beïnvloeden elkaar sterk. Een voorbeeld is de samenhang tussen de spreiding van de bevolking en de bodemvruchtbaarheid. Verandering van het ene verschijnsel zorgt voor verandering bij het andere.

▶ Een geografisch beeld van een gebied bevat een beschrijving van vier soorten kenmerken: de ligging, de gebiedskenmerken, de bevolkingskenmerken en de interne en externe relaties.

**A De ligging**
● De plaats binnen een coördinatensysteem van meridianen en parallellen noem je de *absolute ligging*. Een voorbeeld: Amsterdam ligt op 52° 22' N. en 4° 53' O. Deze absolute ligging verandert nooit. Wat wél kan veranderen is de *relatieve ligging*, dat wil zeggen de positie ten opzichte van andere plaatsen of verschijnselen op het aardoppervlak. De relatieve ligging wordt vaak uitgedrukt in tijd, kosten of moeite om andere plaatsen te bereiken. De bouw van de tunnel onder de Westerschelde veranderde de relatieve ligging van Zeeuws Vlaanderen, omdat de tijd en de moeite om dit deel van Nederland te bereiken kleiner werden.

**B Gebiedskenmerken**
● Dit zijn de (voor een groot deel zichtbare) eigenschappen van een gebied. Denk hierbij aan:
– Kenmerken van de natuurlijke omgeving (fysisch milieu), zoals bodem, grondsoort, water, reliëf, klimaat, zeestromen of delfstoffen.
– De inrichting, zoals bodemgebruik, verkaveling, infrastructuur, nederzettingen of stedelijke bebouwing.

**C Bevolkingskenmerken**
● Er zijn vier bevolkingskenmerken. Allereerst de *culturele* kenmerken. Het gaat dan over aangeleerd gedrag en uitingen van menselijke groepen, zoals taal, godsdienst, geschiedenis of heersende normen en waarden. Tot de *demografische* kenmerken reken je omvang, groei en (verandering in de) samenstelling van de bevolking.
De *economische* kenmerken zoals werkloosheid, inkomen, in- en uitvoer of de bestaansmiddelen (landbouw, industrie en diensten) vormen de derde groep.
Ten slotte de *politieke* kenmerken. Ze hebben te maken met het uitoefenen en de verdeling van macht. Zo worden in Nederland veel politieke besluiten genomen in Den Haag. In België daarentegen is de macht verdeeld over drie gewesten: het Vlaamse, het hoofdstedelijke en het Waalse gewest.

**D Interne en externe relaties**
● Bedrijven, instellingen en organisaties hebben onderling contacten. Voor zover deze plaatsvinden binnen de bestudeerde regio spreek je over *interne relaties*. Gebruikmaken van wijkvoorzieningen behoort tot de interne relaties van steden. Contacten met andere regio's noem je *externe relaties*. Forensisme is een externe relatie van een stad: namelijk tussen bewoners van gebieden rondom de stad met bedrijven in de stad zelf.



▶ De opbouw van geografische kennis kan twee vormen aannemen: regionale en thematische geografie.
● De *regionale geografie* concentreert zich op de studie van één gebied (regio). Het gaat hierbij om de samenhang tussen verschijnselen binnen dat gebied en de relaties met andere gebieden. Regionaal geografen benadrukken het unieke karakter van dat gebied ten opzichte van andere gebieden. Dat unieke karakter wordt vaak in enkele woorden tot uitdrukking gebracht. Bijvoorbeeld met 'Nederland distributieland' of 'China: de reus ontwaakt'.
● In de *thematische geografie* proberen geografen een goed beeld te krijgen van één of enkele verschijnselen. Daarvan wordt dan het spreidingspatroon onderzocht en de samenhang met andere verschijnselen. Bijvoorbeeld de spreiding van de bevolking in samenhang met klimaten.

▶ Geografische kennis wordt onder andere gebruikt bij het oplossen van ruimtelijke vraagstukken. Een ruimtelijk vraagstuk is bijvoorbeeld het probleem rondom de leefbaarheid van stedelijke gebieden, wateroverlast in Nederland of de verdroging in Afrika.
▶ Geografische informatie wordt nooit kant-en-klaar afgeleverd. Integendeel. Boeken, films, websites of kaarten bevatten veel gegevens, maar het is dan de kunst om hieruit de juiste informatie te halen en die te combineren. Aardrijkskundige vragen helpen daarbij.

## 2 Aardrijkskundige vragen stellen

### Soorten aardrijkskundige vragen

▶ Iedereen stelt zich bij het plannen van een vakantie wel eens een vraag over de ligging, natuurlijke omgeving en inrichting van het vakantiegebied, de cultuur die er voorkomt of de bereikbaarheid. Denk maar eens aan de volgende vragen:
– Waar ligt het vakantiegebied? (Hoe ver moet ik reizen?)
– Hoe ziet het landschap eruit? (Welke schoenen neem ik mee?)
– Welke weersomstandigheden overheersen er? (Veel zon? Genoeg sneeuw?)
– Welke taal wordt er gesproken? (En spreken ze ook Engels?)
– Op welke manier moet ik naar dat gebied reizen? (Auto, vliegtuig, trein?)

Dit zijn allemaal geografische vragen. Je bent zo, misschien wel onbewust, bezig met aardrijkskunde. Ze gaan immers over een gebied en de verschijnselen die zich daar voordoen. De vragen hebben nog iets anders gemeenschappelijk. Bij de beantwoording ontstaat een beschrijving van een (vakantie)gebied. Vragen die een beschrijving opleveren, noem je daarom beschrijvende vragen. Elk vak, dus ook aardrijkskunde, begint met het stellen van beschrijvende vragen. Maar eigenlijk zijn de vragen naar het 'waarom' en 'waartoe' interessanter. In het volgende overzicht tref je ook dat soort vragen aan. Er worden daar ook voorbeelden gegeven.

**A Beschrijvende vragen**
● Deze vragen beginnen met woorden als 'waar', 'hoe', of 'wat'. Antwoorden op beschrijvende vragen gaan dus over zaken als de ligging of de spreiding en de kenmerken van verschijnselen. Soms gaat het om de weergave van een ruimtelijk vraagstuk.

**B Verklarende vragen**
● Deze vragen beginnen met woorden als 'waarom', 'waardoor', 'hoe komt het'. Het gaat dus om oorzaken. Een goede verklaring bestaat uit de volgende onderdelen:
– *Situatiebeschrijving*. Je noemt de geografische omstandigheden waarin een verschijnsel zich voordoet. Het gaat om aspecten van de ligging, de gebiedskenmerken, de bevolkingskenmerken of de relaties die kunnen helpen bij de verklaring.
– *Oorzaak*. Welke gebeurtenis zorgt ervoor dat het te verklaren verschijnsel zich voordoet?
– *Gevolg*. Dit is het te verklaren verschijnsel.
– *Verklarend principe*. Dit is een algemene regel waarin is vastgelegd waarom de oorzaak leidt tot het gevolg.

Meestal spelen meerdere oorzaken of factoren tegelijkertijd een rol. Voor veel verschijnselen zijn zowel menselijke als natuurlijke factoren verantwoordelijk. Zo wordt bodemerosie niet alleen veroorzaakt door ontbossing (een menselijke factor), maar ook door een toename van de intensiteit van de neerslag (een natuurlijke of fysische factor).

**C Voorspellende vragen**
● Voorspellende vragen zijn toekomstgericht. Het zijn vragen naar het voorkomen (of wegblijven) van verschijnselen in een gebied in de komende jaren of decennia. Het gaat om een verwachting op grond van de beschikbare informatie.
Een goede voorspellende vraag bevat minstens drie onderdelen:
– *Situatiebeschrijving*. De huidige (regionale) omstandigheden, met aandacht voor de ruimtelijke context.
– *Verwachting*. De voorspelde toekomst.
– *Voorspellend principe*. Dit is een algemene regel die het verband beschrijft tussen de huidige omstandigheden en de verwachting voor de toekomst.

| Soorten vragen | Voorbeelden van vragen met daaronder (beknopte) antwoorden |
|---|---|
| A Beschrijvende vragen | 1 Wat is 'toerisme'?<br>2 Waar liggen toeristische bestemmingsgebieden in Spanje?<br>3 Hoe reizen toeristen naar vakantiebestemmingen in Spanje?<br>4 Welk soort toerisme tref je in de genoemde gebieden aan?<br>5 Voor welke plaatselijke problemen zorgt het toerisme? |
| | 1 Vorm van recreatie, gericht op reizen en verblijf buiten eigen woongebied.<br>2 Aan de kusten van de Middellandse Zee: de costa's.<br>3 Per vliegtuig, bus of auto.<br>4 Massatoerisme, strandvakanties.<br>5 Overlast, verstening, problemen met watervoorziening, enzovoort. |
| B Verklarende vraag | Waardoor nam het massatoerisme naar de Spaanse costa's vanaf de jaren zestig van de vorige eeuw zo sterk toe? |
| | Situatiebeschrijving De aanwezigheid van landschappelijk mooie kuststreken, mooie stranden en warme, hete zomers en zachte winters.<br>Oorzaak Toename welvaart en vrije tijd en betere infrastructuur (autosnelwegen).<br>Gevolg Stijging van het aantal toeristen.<br>Verklarend principe Het aantal toeristen stijgt, wanneer de relatieve afstand naar een (potentiële) toeristische bestemming afneemt en de welvaart en vrije tijd in het herkomstgebied van toeristen toenemen. |
| C Voorspellende vraag | Verwacht je een groei of een daling van het aantal toeristen aan de Spaanse costa's? |
| | Situatiebeschrijving Het aantal toeristen in Spaanse kustgebieden daalde. Het aanbod van alternatieve bestemmingen neemt toe en 'lowbudget'-maatschappijen concurreren met nieuwe plaatsen van vertrek en meer bestemmingen binnen Europa.<br>Verwachting Verdere daling van toeristenstroom naar Spanje.<br>Voorspellend principe Naarmate de toerist kan kiezen uit meerdere, gelijkwaardige bestemmingen qua relatieve afstand (prijs, afstand, reistijd) en kwaliteit (comfort, service, landschappelijke attractiviteit), neemt de kans af dat hij steeds weer kiest voor die ene bestemming. |
| D Waarderende vraag | Vind je de afname van de toeristenstroom gunstig of ongunstig voor de Spaanse kustgebieden? |
| | Situatiebeschrijving Verminderde inkomsten voor de horeca aan de Spaanse kust, de toename van de werkloosheid, de verslechtering van de dienstenbalans tussen Spanje en het buitenland, maar ook een kleinere aanslag op watervoorraden, minder aantasting van het milieu, enzovoort.<br>Oordeel Een afweging tussen enerzijds de economische belangen en anderzijds de bescherming van natuurwaarden. Hecht je grotere waarde aan de natuurbelangen, dan zul je de afname van de toeristenstroom positief waarderen. Een en ander onderbouw je met argumenten door bijvoorbeeld in te gaan op de effecten van minder toeristen op de watervoorraden in de regio. |
| E Probleemoplossende vraag | Welk advies zou je geven om te voorkomen dat de inkomsten uit toerisme afnemen en dat de werkloosheid toeneemt? |
| | Situatiebeschrijving Zie eerder bij waarderende vraag.<br>Voorstel van maatregelen Investeren in duurzaam toerisme.<br>Criteria Precieze beschrijving van de toename van watervoorraden, vermindering van energieverbruik en milieuvervuiling.<br>Oplossing Duurzamere samenleving met een verbetering van het milieu en minder werkloosheid en hogere inkomsten. |



### D Waarderende vragen

● Waarderen betekent dat je een uitspraak doet over de wenselijkheid van een situatie of proces. Daar horen ook argumenten bij: waaróm is iets wenselijk?
Waarderende vragen beginnen bijvoorbeeld met 'Is het een goede zaak, dat ....(?)', of 'Waarom vind je het wenselijk, dat ....(?)'
Waarderen heeft alles te maken met opvattingen over 'goed' en 'slecht' en dus met waarden en normen. Die waarden en normen moet je noemen bij waarderende vragen. Daarnaast moet je ook argumenten geven.
Voor waarderende vragen kun je het 'Stappenplan eigen mening' gebruiken:
– Wat is het probleem?
– Wie zijn erbij betrokken?
– Wat is hun mening over het probleem en welke argumenten hebben ze?
– Wat is je eigen mening en welke argumenten heb jij zelf?

### E Probleemoplossende vragen

● Bij dit soort vragen wordt je gevraagd een probleem op te lossen. Alle eerder genoemde vragen moet je daarvoor al beantwoord hebben. Immers, zonder een verschijnsel eerst te kennen en te kunnen verklaren, kun je geen probleem oplossen. Het antwoord op een probleemoplossende vraag is vaak een voorstel, een advies of een plan.
Bij de antwoorden zullen de volgende elementen moeten terugkomen:
– *Situatiebeschrijving*. De huidige ongewenste situatie/ ontwikkeling.
– *Voorstel van maatregelen*. waaruit je zou kunnen kiezen. Niet elke maatregel zal even goed uitpakken. Anders gezegd: maatregelen kunnen tot verschillende *scenario's* leiden.
– *Criteria* waaraan een oplossing moet voldoen.
– *Oplossing*. Dit is de maatregel die volgens jou tot de meest gewenste ontwikkeling leidt. Je moet ook duidelijk maken waarom je juist deze maatregel kiest.

### Hoofdvragen en deelvragen

▶ Wanneer je een verschijnsel of gebied gaat bestuderen, maak je één centrale vraag (de hoofdvraag) en enkele deelvragen. Hoofdstukken in het boek zijn ook opgebouwd aan de hand van zo'n combinatie van hoofd- en deelvragen.
▶ Een goede hoofdvraag voldoet aan de volgende eisen:
● De hoofdvraag moet natuurlijk een aardrijkskundige vraag zijn en dus betrekking hebben op zowel een verschijnsel als een gebied.

| Voorbeeld van hoofd- en deelvragen |
|---|
| Hoofdvraag |
| Wat is de beste oplossing om te voorkomen dat veranderingen in de waterafvoer van de grote rivieren de komende dertig jaren een probleem gaan vormen voor de bewoners van het rivierengebied? (probleemoplossende / waarderende vraag) |
| Deelvragen |
| 1 Waar ligt het rivierengebied en welke delen van Nederland horen erbij? (beschrijvende vraag)<br>2 Hoe is de waterafvoer de laatste decennia in het rivierengebied veranderd? (beschrijvende vraag)<br>3 Welke problemen bracht die verandering met zich mee? (beschrijvende vraag)<br>4 Waardoor werd de verandering van de waterafvoer veroorzaakt? (verklarende vraag)<br>5 Welke veranderingen treden hier de komende dertig jaar op in de waterafvoer van de grote rivieren en waar precies? (voorspellende vraag)<br>6 Welke problemen voor de bevolking doen zich door die veranderingen in de waterafvoer voor? (voorspellende vraag)<br>7 Welke oplossingen kun je bedenken om de problemen te voorkomen? (probleemoplossende vraag)<br>8 Welke oplossing is de beste? (waarderende vraag) |

● Uit de hoofdvraag moet duidelijk tot uiting komen welke informatie je nodig hebt. De hoofdvraag is dus niet te globaal. Zorg voor het volgende:
– Omschrijf duidelijk het onderwerp ('wat').
– Baken de periode waarin het onderwerp onderzocht moet worden duidelijk af ('wanneer').
– Geef zo precies mogelijk aan welk(e) gebied(en) onderzocht worden ('waar' en 'begrenzing').

▶ De antwoorden op de deelvragen lossen een stuk van de hoofdvraag op. Goede deelvragen voldoen aan de volgende eisen:
● Deelvragen ondersteunen de hoofdvraag.
● Het aantal deelvragen is niet te groot. Voeg daartoe eventueel deelvragen samen of streep wat minder belangrijke vragen weg.
● Deelvragen staan in een logische volgorde. Je kunt denken aan de volgende twee manieren:
1 Eerst beschrijvende, vervolgens verklarende, daarna waarderende of probleemoplossende vragen en ten slotte de voorspellende vragen. Zorg er in ieder geval voor dat er naast beschrijvende deelvragen minstens één ander type vraag gesteld wordt.

2 Het antwoord op de eerste deelvraag is nodig om de tweede te beantwoorden, enzovoort. Elke deelvraag helpt je dus verder op weg om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden.

## 3 Geografische hulpmiddelen

**Kaarten: belangrijke geografische informatiebronnen.**

▶ Om (geografische) vragen te kunnen beantwoorden, heb je bronnen nodig, waaruit je informatie haalt. Geografische informatie kun je verkrijgen door zelf onderzoek te verrichten. Dit 'veldwerk' is echter niet altijd mogelijk. De bronnen zijn meestal teksten, kaarten, beelden en cijfers of grafieken in (vak) literatuur, (massa)media, film, (interactieve) animaties, (lucht) foto's en cartoons. Van al deze mogelijkheden vormen kaarten misschien wel de belangrijkste informatiebron.

▶ Aardrijkskunde zonder kaarten is bijna onmogelijk. Juist op kaarten worden ruimtelijke verschillen afgebeeld en daar draait het bij aardrijkskunde om. De cartograaf (kaartmaker) brengt op kaarten niet alleen de ligging, gebieds- en bevolkingskenmerken in beeld, maar ook relaties Een voorbeeld van een kaart met (ruimtelijke) relaties is GB 78A.

### Kaartsoorten

▶ Bij *kaartsoorten* let je op het gebruik van de kaart. Dat gebruik kan sterk variëren. Raadpleeg hiervoor maar eens GB 14. Drie soorten kaarten komen veel voor:

● *Landkaarten*. Ze geven op schaal een algemeen beeld van het aardoppervlak met daarop wegen, rivieren, het nederzettingenpatroon, grenzen, de vegetatie, reliëf, enzovoort. Als de schaal van een landkaart 1:10.000, 1:25.000 of 1:50.000 is, spreek je over *topografische kaarten* (Voorbeeld: GB 21A,C). Vanaf 1:100.000 zijn het *overzichtskaarten* (Voorbeeld: GB 40-41). De topografische kaarten beelden een klein gebied af met veel details. De overzichtskaarten hebben minder details en betreffen een groter gebied.

● *Navigatie-* of *oriëntatiekaarten* worden gebruikt voor het uitzetten of volgen van een bepaalde route. Denk aan *stadsplattegronden* (GB 26A), *wegenkaarten*, *zeekaarten* en *luchtvaartkaarten*.

● *Thematische kaarten* gebruik je als de spreiding van een verschijnsel of thema centraal staat. Dat kan een gebiedskenmerk zijn, zoals grondsoort, klimaat of nederzettingen, of een bevolkingskenmerk (bijvoorbeeld inkomen, werkgelegenheid, godsdienst) of relaties (bijvoorbeeld handel, forensisme, enzovoort). Op sommige thematische kaarten worden bij elkaar passende kenmerken gecombineerd afgebeeld. Zie bijvoorbeeld GB 55A.

▶ Cartografen benadrukken op de kaarten altijd bepaalde kenmerken van gebieden. Behalve de *titel*, *kaartsymbolen* en de *schaal* gebruiken zij nog andere manieren om de aandacht op bepaalde verschijnselen te richten. Dat is van belang bij het selecteren van een kaart in de atlas. Je moet dan die kaart kiezen die het best past bij de gestelde vraag. Waar moet je dan, behalve op symbolen, titel of de schaal van de kaart nog meer op letten?

● De *projectie*. Het bolvormig aardoppervlak kan op verschillende manieren op een plat vlak, een kaart dus, afgebeeld worden (GB 12). Er zijn projecties die de vorm van gebieden/landen goed weergeven, maar geen goed beeld geven van de grootte van het oppervlak. Soms is een kaart zo getekend, dat alleen de richtingen goed weergegeven worden. Vooral bij het afbeelden van grote gebieden, werelddelen of de hele wereld, is het goed om te kijken welke projectie toegepast is. Dat kun je goed zien aan de richting van meridianen en parallellen.

● Cartografen geven soms verschijnselen op een overdreven manier weer, bijvoorbeeld de breedte van rivieren. Ook het omgekeerde komt voor: minder belangrijke zaken worden gewoon weggelaten of minder benadrukt.

### Kaarttypen

▶ *Kaarttypen* onderscheiden zich van elkaar door de vormgeving (GB 13). Verwar *kaarttypen* (onderscheid in vormgeving) niet met *kaartsoorten* (onderscheid in gebruik).

● Op *chorochromatische* kaarten (ook wel *mozaïekkaarten*) is per deelgebied een eigenschap (ook wel een 'kwaliteit') weergegeven. Een voorbeeld: volgens GB 13A heeft stadsdeel Zuidoost in Amsterdam een eigen bestuur en is opgedeeld in zeven buurten. Dat is een politieke eigenschap. Een ander voorbeeld is een kaart waarop van deelgebieden de overheersende godsdienst is afgebeeld.

● *Choropletenkaarten* hebben betrekking op een kwantitatief kenmerk of verschijnsel. Denk aan een hoeveelheid of de intensiteit van een verschijnsel. GB 13C is een voorbeeld: de bevolkingsdichtheid. Elk deelgebied heeft een andere kleur.

● *Isolijnenkaarten* zijn een ander kaarttype om cijfermatige gegevens ('kwantiteiten') weer te geven. Isolijnen (iso = gelijk) verbinden punten die eenzelfde waarde hebben. Hoogtelijnen zijn het beste voorbeeld ervan: elk punt op zo'n lijn heeft dezelfde hoogte (bijvoorbeeld 250 m boven de zeespiegel). Ruimtes tussen 'isolijnen' kunnen verschillende kleuren krijgen.

■ De arcering of kleuren worden zowel op choropletenkaarten als op isolijnenkaarten intensiever of feller naarmate de waarde hoger is (GB 13D).



● Op *anamorfosekaarten* worden gebieden op een wat vreemde manier getekend. Het oppervlak van een land, een provincie of deel van de wereld wordt niet in verhouding getekend tot het werkelijke oppervlak in (bijvoorbeeld) km². De grootte is getekend in verhouding tot de omvang van een verschijnsel. Om bijvoorbeeld goed tot uiting te brengen dat het inkomen per inwoner in de (semi)perifere landen erg laag ligt ten opzichte van de kernlanden, teken je op een anamorfosekaart landen groter naarmate het inkomen er hoger is. Het oppervlak van Nederland zou dan op zo'n kaart ruim vier keer zo groot worden afgebeeld als dat van Mexico. Het inkomen van dat laatste land is immers bijna vier keer zo klein. Op GB 216 staan enkele voorbeelden van dit kaarttype.

● Op *diagramkaarten* staan cirkeldiagrammen, staafdiagrammen of blokdiagrammen (GB 13G).

● *Stippenkaarten* gebruiken puntsymbolen om de spreiding van een verschijnsel in beeld te brengen. Elk symbool stelt dan een bepaalde waarde voor, bijvoorbeeld 1.000 personen (GB 13B).

● *Stroomdiagrammen* gaan over verplaatsing van goederen, mensen of informatie tussen punten op het aardoppervlak. Stroomdiagrammen zijn heel geschikt voor het verhelderen van relaties tussen gebieden of plaatsen. Voorbeelden: vluchtelingenstromen in Oost-Afrika of migratie (GB 165E).

### Remote sensing

▶ *Remote-sensingbeelden* lijken op kaarten (GB 16-19). Scanners in satellieten en vliegtuigen tasten de aarde voortdurend in kleine stukjes af ('remote' = 'vanaf een afstand' en 'sensing' = 'aftasten'). Ze meten allerlei soorten straling op (zoals licht of warmte). Met een computer kun je van deze gemeten straling een op een kaart lijkende figuur maken. Voor iedere hoeveelheid straling kiest men een bepaalde kleur. De kleuren kunnen overeenkomen met de echte kleuren; dan spreek je over *'true colour'*. Is dat niet het geval dan zijn de remote-sensingbeelden weergegeven in *'false colour'*.

▶ Remote sensing heeft enkele belangrijke voordelen:

● Een groot voordeel van remote sensing is dat het onzichtbare zichtbaar gemaakt kan worden. Het gat in de ozonlaag is niet te zien met het menselijk oog, maar het kan wel gescand en (het rode, blauwe, groene en het infrarode licht) ingekleurd worden.

● Een tweede pluspunt is dat gelijktijdig over grote gebieden dezelfde gegevens kunnen worden verzameld. Als je deze totaaloverzichten een aantal jaren maakt, kun je de ontwikkelingen in de tijd volgen. Voorbeelden hiervan zijn de verdroging van het Aralmeer vanaf de tweede helft van de vorige eeuw en de ontbossing in het Amazonegebied.

### Kaartvaardigheden

▶ Bij het gebruiken van kaarten komen een aantal vaardigheden kijken. Die oefen je bij de vele opdrachten uit het werkboek. Een overzicht daarvan:

● *Kaartlezen* is een zaak van goed naar de kaart kijken met behulp van de legenda die bij de kaart hoort. Deze vaardigheid komt vooral van pas bij het beantwoorden van beschrijvende vragen. Bijvoorbeeld: waar liggen overal nederzettingen?

● *Kaartanalyse*. Analyse gaat verder dan kaartlezen. Daarbij gaat het vooral om de afzonderlijke elementen in een gebied. In het voorbeeld van de nederzettingen zou je op de volgende twee manieren een analyse kunnen maken:

- Zijn het nederzettingen die op een bepaalde hoogte liggen? Om erachter te komen of dat zo is, moeten de nederzettingen geordend worden. Je maakt bijvoorbeeld een groep van alle nederzettingen die boven en alle nederzettingen die onder 1.500 m hoogte liggen. Dit heet classificeren. Bij deze analyse ga je eigenlijk op zoek naar regelmatigheden of spreidingspatronen.
- Is er een verband tussen het klimaat en het bodemgebruik? Met een of meerdere kaarten probeer je op zoek te gaan naar verbanden tussen deze verschijnselen.

● *Kaartinterpretatie* is misschien wel de moeilijkste vaardigheid. Een voorbeeld. Stel dat je ontdekt dat er een verband is tussen commerciële akkerbouw en het voorkomen daarvan in de gematigde luchtstreek. Je probeert dan vanuit je kennis over landbouw en klimaten verklaringen te bedenken.

## 4 Aardrijkskundige werkwijzen

▶ Je weet nu waar het in de aardrijkskunde om gaat (zie: 1. Geografisch beeld) en welk gereedschap je gebruikt (zie: 3. Geografische hulpmiddelen) om de geografische informatie te verkrijgen, waarmee je aardrijkskundige vragen (zie: 2. Aardrijkskundige vragen) moet gaan beantwoorden. Maar hoe moet je nu aan de slag met dat gereedschap? Ofwel: welke geografische werkwijzen zijn er, om met het gereedschap een goed geografisch beeld op te bouwen? De zes werkwijzen hierna kun je zowel gebruiken bij het bedenken als het beantwoorden van geografische vragen. Die werkwijzen worden kort toegelicht. Het verwerven van een geografisch beeld van het toerisme in Spanje wordt weer als voorbeeld gebruikt in het kader (op de volgende bladzijde).

**A Vergelijken van verschijnselen**

▶ Een verschijnsel kun je op twee manieren onderzoeken.

| Aardrijkskundige werkwijzen | Voorbeeld: toerisme in Spanje |
|---|---|
| **A Vergelijken van verschijnselen** | |
| Twee gebieden als uitgangspunt | Vergelijken van Costa Brava en Costa del Sol op het gebied van toerisme. Bijvoorbeeld: welke verschillen zijn er tussen de beide costa's als je let op de vormen van toerisme (bijvoorbeeld massatoerisme of elitair toerisme, strandtoerisme of toerisme gericht op cultuur), de herkomst en samenstelling van de toeristenstromen, het soort verblijf, enzovoort? |
| Het verschijnsel zelf centraal stellen | Welke vormen van toerisme ken je en hoe zijn deze vormen over het Spaanse grondgebied verspreid? Hoe heeft het toerisme zich in Spanje ontwikkeld en was die ontwikkeling overal hetzelfde? Heeft het toerisme een seizoensmatig karakter en geldt dat voor alle toeristische bestemmingen in Spanje? |
| **B Relaties leggen tussen verschijnselen of gebieden** | |
| Interne factoren | Het toerisme hangt binnen Spanje samen met factoren als klimaat, landschap, prijsniveau, toeristische faciliteiten, maar ook met processen als ontbossing, verdroging, verstedelijking of vervuiling. |
| Externe factoren | Toerisme hangt ook samen met factoren buiten Spanje. Denk aan concurrentie van nieuwe, met de Spaanse costa's vergelijkbare vakantiebestemmingen, zoals de Turkse rivièra. Het kan ook worden toegeschreven aan verschijnselen elders, zoals toenemende werkloosheid in het noordwesten van Europa, het dichtslibben van Franse autosnelwegen, toegenomen vrije tijd, enzovoort. |
| **C Verschijnselen of gebieden bekijken vanuit verschillende dimensies** | |
| | Een vraag over voor- en nadelen van toerisme in Spanje is gemakkelijker te beantwoorden als je aan de volgende dimensies denkt: |
| Economische dimensie | Het toerisme is een belangrijke inkomstenbron, levert werkgelegenheid op en versterkt de betalingsbalans. |
| Fysische dimensie | Toeristen worden vaak aangetrokken door de natuurlijke omgeving, maar omgekeerd beïnvloedt het toerisme ook het milieu, waarbij verdroging, vervuiling of vormen van landdegradatie ontstaan. |
| Sociaal-culturele dimensie | Het toerisme heeft invloed op de samenleving en de cultuur van Spanje en het land biedt de toeristen cultureel erfgoed. |
| Politieke dimensie | De manier waarop de lokale, regionale of landelijke politiek bij het toerisme betrokken is. |
| **D Verschijnselen en gebieden plaatsen in hun geografische context** | |
| Stad en streek | Torremolinos is deel van het ruimere gebied van de Costa del Sol. Als je een idee hebt tot welk groter geheel Torremolinos behoort, kun je ook beter inschatten welke andere gebieden de belangrijkste directe concurrenten van Torremolinos zijn. |
| Streek en land | In een grotere context: de Costa del Sol is een deel van Spanje. Binnen dat land neemt het gebied een voorname positie in op toeristisch gebied als je let op het aantal overnachtingen. Ook Torremolinos heeft baat bij de positie van de Costa del Sol binnen Spanje. |
| **E Veranderen van ruimtelijk schaalniveau** | |
| Door inzoomen worden (binnen een groter gebied) details zichtbaar. Bij uitzoomen raken de details op de achtergrond. | Op continentale (Europese) schaal gaan toeristen naar landen aan de Middellandse Zee vanwege de grote kans op goed weer. Inzoomend op een deel van Spanje blijkt, dat dit ook opgaat voor Torremolinos. De accommodatie in Torremolinos is uitstekend voor het massatoerisme met de vele goedkope hotels. Maar in Barcelona spelen ook andere factoren mee: veel musea, prachtige parken en historische gebouwen. |
| **F Redeneren vanuit het algemene en het bijzondere** | |
| | Stel bijvoorbeeld de vraag: welke algemene en welke bijzondere factoren hebben bijgedragen aan de opkomst van Marbella en Lloret de Mar als badplaatsen aan de Spaanse Middellandse Zeekust? |
| Algemene factoren | In het algemeen gaat het bij de toeristenplaatsen aan de costa's om zonnige bestemmingen voor toeristen uit Noordwest-Europa, met droge en warme zomers, mooie stranden, lage prijzen en een groot aanbod van toeristische voorzieningen. |
| Bijzondere factoren | Maar zijn er ook bijzondere factoren? Als je dat voor Marbella onderzoekt, blijkt dat een toevallige, corrupte burgemeester ooit voor een enorme groei van dit toeristenoord heeft gezorgd. Marbella is een badplaats voor de elite geworden. Bijzondere factoren voor de groei van Lloret de Mar waren de goede bereikbaarheid en de lange toeristische traditie. |



- Je vergelijkt een verschijnsel (bijvoorbeeld toerisme) in het ene gebied met hetzelfde verschijnsel in het andere gebied.
- Bij de tweede manier stel je het verschijnsel zelf centraal. (Je stelt niet de gebieden op de voorgrond maar het toerisme zelf.)

**B Relaties leggen tussen verschijnselen of gebieden**

▶ Bij deze werkwijze zoek je naar samenhang, ofwel (interne en externe) relaties.

**C Verschijnselen of gebieden bekijken vanuit verschillende dimensies**

▶ Aan verschijnselen kun je een aantal aspecten onderscheiden:

- De *economische dimensie*.

Het gaat om het creëren van inkomen, werkgelegenheid of de bijdrage aan de betalingsbalans.

- De *fysische dimensie*.

Deze dimensie heeft betrekking op de natuurlijke omgeving.

- De *sociaal-culturele dimensie*.
- De *politieke dimensie*.

Het gaat hier om de politieke invloed van overheden en belangengroepen.

**D Verschijnselen en gebieden plaatsen in hun geografische context**

▶ Gebieden en verschijnselen maken deel uit van een groter geheel.

**E Veranderen van ruimtelijk schaalniveau**

▶ Regio's zijn er in allerlei maten. Daardoor werken geografen niet altijd op hetzelfde *ruimtelijke schaalniveau*. Veelgebruikte ruimtelijke schaalniveaus zijn:

- *mondiaal* niveau: de wereld,
- *continentaal* niveau: werelddeel,
- *nationaal* niveau: landelijk,
- *regionaal* niveau: provincie, streek of landsdeel,
- *lokaal* niveau: plaatselijk,
- *fluviaal* niveau: stroomgebied van een rivier.

Geografische kennis wordt beter wanneer je enkele keren van ruimtelijke schaal verandert door in of uit te zoomen. Je krijgt daardoor een heel andere kijk op een verschijnsel of een gebied.

**F Redeneren vanuit het bijzondere en het algemene**

▶ In veel gebieden spelen behalve algemene ook bijzondere factoren een rol. Geografen proberen via deze werkwijze zicht daarop te krijgen. In onderstaand kader is dat uitgewerkt voor het toerisme.

## 5 Stappenplan geografisch onderzoek

▶ Bij een compleet geografisch onderzoek komt heel wat kijken. Daarom is het van belang om zo'n onderzoek op een goede, dat wil zeggen systematische manier te laten verlopen. Het schema hieronder biedt daarbij de helpende hand. Voor uitleg en tips bij het uitvoeren van deze stappen kun je terecht op *www.degeo-online.nl*.

| Onderzoeksstappen | Uitwerking |
|---|---|
| **Fase I Voorbereiden** | |
| 1 Vragen stellen | 1a Probleemoriëntatie |
| | 1b Hoofd- en deelvragen formuleren of |
| | 1c Werken met hypothesen |
| 2 Plannen | 2a Activiteitenoverzicht maken |
| | 2b Tijdsplanning maken |
| | 2c Taakverdeling maken |
| **Fase II Uitvoeren** | |
| 3 Informatie verzamelen | 3a Informatiebehoefte inventariseren |
| | 3b Bronnen selecteren |
| | 3c Bruikbaarheid bronnen bepalen |
| 4 Informatie verwerken | 4a Informatie ordenen |
| | 4b Informatie analyseren |
| **Fase III Afsluiten** | |
| 5 Vragen beantwoorden | 5a Deelvragen beantwoorden |
| | 5b Hoofdvraag beantwoorden |
| | 5c Standpunt bepalen |
| 6 Presenteren | 6a Doel en doelgroep vaststellen |
| | 6b Inhoud bepalen |
| | 6c Medium bepalen |
| | 6d Planning maken |
| | 6e Presentatie uitvoeren |
| **Fase IV Evalueren** | |
| 7 Leren leren | 7a Hoe verliep de voorbereiding? |
| | 7b Hoe verliep de uitvoering? |
| | 7c Hoe verliep de afsluiting? |

# Register van begrippen

*Paginanummer in zwart → pagina waarop begrip voor het eerst in de tekst wordt genoemd*
*Paginanummer in blauw → pagina van de begrippenlijst*





# Bronvermelding

**Hoofdstuk 1**
**1.1** Physische Geographie, J. Bauer e.a., Schroedel, 2008
**1.3** www.klimaatwebsite.be
**1.4** Higher Geography, K. Maclean e.a., Hodder Gibson, 2005
**1.5** Physische Geographie J. Bauer e.a., Schroedel, 2008
**1.6** Higher Geography, K. Maclean e.a., Hodder Gibson, 2005
**1.8** Physische Geographie, J. Bauer e.a., Schroedel, 2008
**1.9, 1.10, 1.12** Higher Geography, K. Maclean e.a., Hodder Gibson, 2005
**1.14** Dynamic Earth, Bj. Skinner e.a., John Wiley & sons, 2004
**1.15, 1.16, 1.17, 1.18** Geography, an integrated approach, D. Waugh, Nelson, 2001
**1.19, 1.20, 1.22, 1.23** Earth's Climate, Past and Future, W.F. Ruddiman, W.H. Freeman, 2002

**Hoofdstuk 2**
**2.2** Physical Geography of the global environment, (H.J. de Blij), Wiley & sons
**2.3** http://pubs.usgs.gov
**2.4** Physical Geography of the global environment, (H.J. de Blij), Wiley & sons
**2.7** Klimaat in beweging, Harry Otten, Tirion Natuur, 2005
**2.9** Physical Geography of the global environment, (H.J. de Blij), Wiley & sons
**2.10** Earth's Climate Past and Future, W.F. Ruddiman, W.H. Freeman, 2002
**2.11** www.co2crc.com
**2.12** De aarde in rood, groen en wit, S.B. Kroonenberg. Lezing TU Delft, 2002
**2.13** NRC, 06-03-2010
**2.21** Geografie, jaargang 14, 2005, nummer 6
**2.22** www.mynkamer.eu
**2.25** H.A.J. Meijer, Centrum voor Isotopenonderzoek, Rijksuniversiteit Groningen (Studium Generale Maastricht, 2005)

**Hoofdstuk 3**
**3.3** www.knmi.nl
**3.5** http://noorderlicht.vpro.nl/dossiers
**3.6** Earth's Climate Past and Future, W.F. Ruddiman, W.H. Freeman, 2002
**3.8, 3.9** www.iea.org
**3.11** Modern glacier retreat on Kilimanjaro as evidence of climate change: observations and facts, in: International Journal of Climatology 24: 329-339, Wiley Interscience, 2004
**3.15** www.grida.no
**3.20** www.kennislink.nl
**3.21** NRC Next, 20-04-2010

**Hoofdstuk 4**
**4.1** www.exxonmobil.nl
**4.3** www.climatequest.org
**4.5** www.energiebureaulimburg.nl
**4.8** www.greenpeace.org
**4.10** www.elektrischeautoadviezen.nl
**4.11** groen.blog.nl
**4.12** nl.wikipedia.org
**4.13** www.eea.europa.eu
**4.15** www.volkskrant.nl

**Foto's**
Thomas Knauer/Lineair, Arnhem: omslagfoto
AP/Reporters, Haarlem: p. 5
Nasa, Washington: p. 6
Xinhua/Lineair, Arnhem: p. 11
Jean-Jacques Alcalay/Lineair, Arnhem: p. 14
Rob Sunderland/Yorkshire, UK: p. 15
Nasa, Washington: p.16
Alamy/Image Select, Wassenaar: p. 22
Nasa-Washington: p. 24
20th Century Fox, Los Angeles: p. 25
B. Bozeman, Yellowstone, USA: p. 26
Gary Braasch, Portland, USA: p. 27
K. Irlmeier/Lineair: p. 28
PDPhoto, Los Angeles, USA: p. 31
iStock, Canada: p. 33
iStock, Canada, p. 34
Photolibrary, Londen: p. 38
BSB/Lineair, Arnhem: p. 41
NICK COBBING/Lineair, Arnhem: p. 42 (boven)
S. Kars/E. Ufkes, Aardwetenschappen VU, Amsterdam: p. 42 (fig. 2.21)
Manfred Kage/Lineair: p. 44 (fig. 2.24)
USGS, Reston, Vir., USA: p. 44 (fig. 2.26)
Jiri Buller/Hollandse Hoogte: p. 46
Ulrich Doering/Lineair, Arnhem: p. 47 (boven)
TPG/Lineair, Arnhem: p. 47 (fig.3.1)
Peter Essick/HH, Amsterdam: p. 48
Micheal Friedel/HH, Amsterdam: p. 49
Jens Buttnes/Lineair, Arnhem: p. 51
Webandpicture/Lineair, Arnhem: p. 52
UNEP/Lineair, Arnhem: p. 53
Michel Wijnberg/HH, Amsterdam: p. 55
David Woodfall/Lineair, Arnhem: p. 56
Shafiq Alam/Lineair, Arnhem: p. 57
Hela/Nationale Beeldbank, Amsterdam, p. 58
Reuters/WFA-Den Haag: p. 62
Christian Handl/Lineair, Arnhem: p. 63
Fred Bruemmer/Lineair, Arnhem : p. 66, (rechts)
McPhoto/Lineair, Arnhem: p. 67
Ricardo Funari/Lineair-Lineair: p.68
allOverTPH/Lineair, Arnhem: p.69
Jan Richter/Lineair, Arnhem: p. 73

**Methodeoverzicht**

**Studie- en werkboek havo**

| | |
|---|---|
| 978 9006 435801 | Arm en Rijk studieboek |
| 978 9006 435818 | Arm en Rijk werkboek |
| 978 9006 435887 | (Over)leven in Europa studieboek |
| 978 9006 435894 | (Over)leven in Europa werkboek |
| 978 9006 436129 | Wonen in Nederland studieboek |
| 978 9006 436136 | Wonen in Nederland werkboek |
| 978 9006 436044 | Indonesië Actueel studieboek |
| 978 9006 436051 | Indonesië Actueel werkboek |
| 978 9006 435962 | Systeem Aarde studieboek |
| 978 9006 435979 | Systeem Aarde werkboek |

**Leer/opdrachtenboek havo**

| | |
|---|---|
| 978 9006 435825 | Arm en Rijk leeropdrachtenboek |
| 978 9006 435900 | (Over)leven in Europa leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436143 | Wonen in Nederland leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436068 | Indonesië Actueel leeropdrachtenboek |
| 978 9006 435986 | Systeem Aarde leeropdrachtenboek |

**Studie- en werkboek vwo**

| | |
|---|---|
| 978 9006 436280 | Arm en Rijk studieboek |
| 978 9006 436297 | Arm en Rijk werkboek |
| 978 9006 436440 | Klimaatvraagstukken studieboek |
| 978 9006 436457 | Klimaatvraagstukken werkboek |
| 978 9006 436686 | Wonen in Nederland studieboek |
| 978 9006 436693 | Wonen in Nederland werkboek |
| 978 9006 436204 | Globalisering studieboek |
| 978 9006 436211 | Globalisering werkboek |
| 978 9006 436365 | Systeem Aarde studieboek |
| 978 9006 436372 | Systeem Aarde werkboek |
| 978 9006 436525 | Zuidoost-Azië in beeld studieboek |
| 978 9006 436532 | Zuidoost-Azië in beeld werkboek |
| 978 9006 436600 | Zuidoost-Azië actueel studieboek |
| 978 9006 436617 | Zuidoost-Azië actueel werkboek |

**Leer/opdrachtenboek vwo**

| | |
|---|---|
| 978 9006 436303 | Arm en Rijk leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436464 | Klimaatvraagstukken leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436709 | Wonen in Nederland leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436228 | Globalisering leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436389 | Systeem Aarde leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436549 | Zuidoost-Azië in beeld leeropdrachtenboek |
| 978 9006 436624 | Zuidoost-Azië actueel leeropdrachtenboek |

www.degeo-online.nl

SE Leerstof voor Schoolexamen vwo

**Wereld** **Arm en rijk**

**Aarde** **Klimaatvraagstukken**

**Gebieden** **Zuidoost-Azië actueel**

CE Leerstof voor Centraal examen vwo

**Wereld** **Globalisering**

**Aarde** **Systeem aarde**

**Gebieden** **Zuidoost-Azië in beeld**

**Leefomgeving** **Wonen in Nederland**

